



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONCEPČNÍ POPIS NÁVRHU ZÁVĚSNÉHO DOPRAVNÍKU

CONCEPTUAL DESIGN DESCRIPTION HANGING CONVEYOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ZDENĚK BAŇKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KAŠPÁREK, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Zdeněk Baňka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Koncepční popis návrhu závěsného dopravníku

v anglickém jazyce:

Conceptual design description hanging conveyor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvořte výukovou koncepci postupu pro návrh závěsného dopravníku. Zpracujte tuto koncepci jako podklad pro výukový materiál studentů bakalářského studia.

Cíle bakalářské práce:

Proveďte:

Rešeršní rozbor konstrukce závěsného dopravníku, rešeršní rozbor dostupné literatury a norem, uveďte postup při návrhu závěsného dopravníku. Uveďte základní funkční výpočty a schématické detaily konstrukce.

Seznam odborné literatury:

DAŠEK, M., JEŘÁBEK, F., BAAR, J.: Závěsné řetězové dopravníky. SNTL Praha, 1964, 240 s., 04-263-64.

MARTIN H.; RÖMISCH P.; WEIDLICH A.: Materialflusstechnik, ed. Vieweg, 2004, p. 308, ISBN: 3-528-74061-2

AXMANN, N.: Handbuch Materialflußtechnik. Stückgutförderer, ed. Expert-Verlag GmbH, 2003, s. 268, ISBN-10: 3-8169-2198-1, ISBN-13: 978-3-8169-2198-1

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 8.11.2010

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT:

Tato bakalářská práce se zabývá koncepčním návrhem závěsného dopravníku. Obsahuje funkční výpočty pro jednodráhový řetězový dopravník, uvádí způsoby řešení pohonů, konstrukční řešení jednotlivých částí dopravníku a řešerši literatury, která se tímto tématem zabývá.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Závěsný dopravník, řetězový dopravník, pohon, konstrukce

ABSTRACT:

This bachelor's thesis is focus on conceptual hanging conveyor. Contains functional calculations for chain conveyor with one track, provides solutions drive, design of conveyor parts and literature that deals with this topic.

KEYWORDS:

Hanging conveyor, chain conveyor, drive, design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

BAŇKA, Z. Koncepční popis návrhu závěsného dopravníku. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 54 s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Jaroslava Kašpárka, Ph.D.

V Brně dne 27. 5. 2011

.....

Zdeněk Baňka

PODĚKOVÁNÍ:

Za rady a připomínky děkuji Ing. Jaroslavovi Kašpárkovi, Ph.D. Za cenné rady a poznatky z navrhování pohonů děkuji Ing. Jiřímu Rýdelovi ze společnosti Nord – poháněcí technika, s. r. o.. Za podporu ve studiu děkuji rodičům Zdeně a Aloisovi Baňkovým.

OBSAH

Úvod	- 10 -
1 Rozdělení závěsných dopravníků	- 11 -
1.1 Použití závěsných dopravníků	- 11 -
1.1.1 Prosté dopravníky	- 11 -
1.1.2 Technologické dopravníky	- 11 -
1.2 Počet drah závěsného dopravníku	- 11 -
1.2.1 Jednodráhový dopravník	- 11 -
1.2.2 Dvoudráhový dopravník	- 12 -
1.3 Konstrukce závěsných dopravníků	- 12 -
1.3.1 Podvěsný dopravník	- 12 -
1.3.2 Prostorový dopravník	- 12 -
1.3.3 Speciální druhy dopravníků	- 13 -
2 Dostupná literatura	- 14 -
3 Výpočet jednodráhového závěsného dopravníku	- 16 -
3.1 Dopravní rychlost	- 16 -
3.2 Dopravní výkon	- 17 -
3.3 Kontrola rozteče přepravovaných kusů	- 18 -
4 Orientační výpočet tahu v řetězu	- 21 -
4.1 Kritická místa pro výpočet tahu v řetězu	- 21 -
4.2 Výpočet tažené hmotnosti dopravníkem	- 21 -
4.3 Orientační výpočet maximálního tahu v řetězu	- 23 -
5 Podrobný výpočet tahu v řetězu	- 25 -
5.1 Zásady podrobného výpočtu tahu v řetězu	- 25 -
5.2 Zjednodušující předpoklady pro podrobný výpočet tahu v řetězu	- 25 -
5.2.1 Výpočet součinitele zvýšení tahu v oblouku	- 26 -
5.2.2 Stanovení počtu redukováných oblouků	- 26 -
5.2.3 Výpočet složky tahu vyvolané počátečním tahem v řetězu	- 27 -
5.2.4 Výpočet složky tahu vyvolané postupně přibývajícími odpory	- 28 -
5.3 Výpočet tahu v řetězu v libovolném místě dopravníku	- 29 -

5.3.1	Výpočet složky tahu T_p	- 29 -
5.3.2	Výpočet složky tahu T_u	- 29 -
5.3.3	Výpočet složky tahu T_Q	- 30 -
5.3.4	Výpočet složky tahu T_h	- 31 -
5.3.5	Výpočet složky tahu T_k	- 31 -
5.3.6	Výpočet složky tahu T_o	- 33 -
5.3.7	Tah v řetězu za ztížených podmínek	- 33 -
6	Pohony.....	- 34 -
6.1	Sekundární převod	- 34 -
6.2	Sdružený pohon	- 34 -
6.3	Několikanásobný pohon se společně pracujícími hnacími jednotkami.....	- 35 -
6.3.1	Princip pohonů se společně pracujícími elektromotory	- 36 -
6.3.2	Napínací jednotka.....	- 36 -
6.4	Nejpoužívanější řešení.....	- 37 -
6.4.1	Výkon elektromotoru	- 37 -
6.4.2	Kontrola pohonné jednotky	- 38 -
7	Konstrukční řešení závěsných dopravníků.....	- 39 -
7.1	Dráha dopravníku	- 39 -
7.2	Jezdec.....	- 39 -
7.2.1	Zavěšení jezdce venkovní	- 40 -
7.2.2	Jezdec veden uvnitř dráhy	- 40 -
7.2.3	Tažný člen veden uvnitř dráhy i s jezdcem	- 40 -
7.3	Závěs.....	- 41 -
7.4	Bezpečnostní zařízení	- 42 -
7.5	Vedení obloukem.....	- 43 -
8	Závěr.....	- 44 -
9	Seznam použitých zdrojů	- 45 -
10	Seznam použitých symbolů.....	- 47 -
11	Seznam příloh.....	- 50 -

Úvod

Závěsné dopravníky jsou prostorová dopravní zařízení určená převážně pro dopravu kusového materiálu v malých pravidelných dávkách. Jsou tvořeny soustavou vozíků pojíždějících po visuté dráze, které jsou taženy řetězem, případně lanem [4].

Závěsné dopravníky slouží takřka výhradně pro spojitou, výjimečně přerušovanou dopravu kusového materiálu, případně sypkých hmot umístěných v přepravních nádobách. Velikost a četnost dávek je dána technologickým procesem. Lze je použít nejenom k dopravě, ale i pro plně automatizované mezioperační skladování. Jsou také vhodné pro nasazení v extrémních provozních podmínkách, jako např. doprava mořícími lázněmi, stříkacími kabinami, sušičkami, chladícími boxy atd. [4].

Tato práce uvádí návrh výpočtu jednodráhového závěsného dopravníku, kde tažným členem je řetěz. Obsahuje výpočet tahu v řetězu, který doprovází velké množství koeficientů, které jsou uvedeny, pokud možno, co nejbližší potřebnému výpočtu nebo v příloze. Dále obsahuje tři různé možnosti navrhování pohonu, výpočet jednoho z nich a konstrukční řešení jednotlivých částí dopravníku.



Obr.1. Závěsný dopravník [3]

1 ROZDĚLENÍ ZÁVĚSNÝCH DOPRAVNÍKŮ

Závěsný dopravník dopravuje materiál tak, že těžiště materiálu je pod drahou dopravníku. Podle způsobu vedení řetězu po dráze se rozlišují dopravníky na podvěsné a prostorové, podle počtu drah na dopravníky jednodráhové a dvoudráhové [1].

Dále je možno dělit dopravníky podle použití na prosté a technologické, podle způsobu pohonu na poháněné a nepoháněné, kde poháněné dopravníky se využívají nejvíce ve strojírenství. S nepoháněnými, a tudíž značně konstrukčně jednoduchými akumulárními dopravníky se lze setkat například na jatkách.

1.1 POUŽITÍ ZÁVĚSNÝCH DOPRAVNÍKŮ

1.1.1 PROSTÉ DOPRAVNÍKY

Prosté závěsné dopravníky slouží pouze k přemísťování materiálu. Tento typ dopravníku se nejčastěji využívá při velkém počtu přepravovaných kusů. Tento typ ulehčí přepravu velkého množství materiálu, dokonce může být dopravník veden u stropu výrobní haly, čímž se zvýší využitelnost celkové zastavěné plochy.

1.1.2 TECHNOLOGICKÉ DOPRAVNÍKY

Jsou dopravníky, které se využívají pro různé technologické operace, zejména při povrchových úpravách materiálu (lakování, sušení, chlazení, ohřev materiálu atd.). Další velké využití těchto dopravníků je jako montážní, skladový, manipulační, mezioperační atd.

1.2 POČET DRAH ZÁVĚSNÉHO DOPRAVNÍKU

1.2.1 JEDNODRÁHOVÝ DOPRAVNÍK

Využívá pouze jednu dráhu, tažný člen (řetěz) je přímo spojen se závěsy. Jedná se tedy o přepravu materiálu s konstantní roztečí mezi břemeny a nelze tento dopravník využít jako akumulární. Příklad jednodráhového prostorového dopravníku je na Obr.1.2.. Na tomto obrázku je možno vidět, že řetěz obsahuje pojezdová kolečka, která ho vedou v dráze.



Obr. 1.2. Jednodráhový dopravník [8]

1.2.2 DVOUDRÁHOVÝ DOPRAVNÍK

Dvoudráhový dopravník má dvě dráhy, z nichž jedna slouží pouze k vedení a nesení tažného prostředku (většinou řetězu) a druhá k vedení a nesení závěsných vozíků, které se mohou pohybovat též nezávisle na první (řetězové) dráze pomocí výhybek po samostatných odstavných úsecích. Umožňuje propojení většího počtu okruhů, po nichž se materiál může pohybovat bez překládání. Délky jednotlivých poháněných okruhů bývají zpravidla kratší než u dopravníků jednodráhových [1].

U dvoudráhového dopravníku je možno využít akumulace materiálu, a to speciálními závěsy, které jsou schopny se odpojit od hnacího členu a následně se zase připojit. Příklad takového dopravníku je na obr. 1.2.1., kde je možno vidět jednu část dopravníku stavebnicového typu.



Obr.1.2.1. Dvoudráhový dopravník [8]

1.3 KONSTRUKCE ZÁVĚSNÝCH DOPRAVNÍKŮ

1.3.1 PODVĚSNÝ DOPRAVNÍK

Podvěsný dopravník má tažný člen umístěný pod vodící dráhou pro jezdce. Z tohoto důvodu je nutné, aby v každém oblouku byla vodící kola, která zajišťují správné vedení řetězu obloukem. Tato kola mohou být hladká (viz. obr. 7.5.1.) s ozubením nebo se využívá soustavy podpůrných válečků (viz. obr. 7.5.2.), o které se řetěz opírá. Podvěsný dopravník může být vodorovný nebo vlnitý. Vodorovný dopravník se používá pro delší dráhy. Vlnitý dopravník je určen pro dráhu se stoupáním a klesáním. Tímto stoupáním a klesáním vzniká v řetězu přídatné ohybové napětí článku řetězu, a proto je používán pro kratší dráhy. Podvěsný dopravník může být proveden jako jednodráhový nebo dvoudráhový [1].

1.3.2 PROSTOROVÝ DOPRAVNÍK

Prostorový dopravník má tažný člen umístěn uvnitř dráhy. Není potřeba žádná vodící kola v obloucích, a proto se používá většinou u drah s velkým počtem oblouků. Vedení řetězu

uvnitř dráhy mu zajišťuje lepší stabilitu článku a výrazně se snižuje ohybové napětí na článek řetězu. Proto se dá prostorový dopravník ve výjimečných případech využít i pro svislou dopravu, musí být ovšem zaručena minimální vzdálenost mezi dopravovanými předměty a mezi dráhou dopravníku. Při větším úhlu stoupání značně kolísá hodnota tahu v řetězu a řetěz není obvykle tak robustní a pevný jako u podvěsných dopravníků, proto je dovolený nižší tah v řetězu, a tím je i omezena hmotnost dopravovaných předmětů. Příklad prostorového dopravníku je na obr.1.2. [1].

1.3.3 SPECIÁLNÍ DRUHY DOPRAVNÍKŮ

Tažným členem nemusí být vždy jen řetěz, mohou to být i lana, gumové pásy apod. Dopravníky s uvedenými tažnými členy, umožňují dopravu ostřejšími zatáčkami a mohou i snižovat hlučnost a v některých případech (viz. obr.1.3.) i zjednodušovat údržbu.



Obr.1.3. Podvěsný dopravník s gumovým pásem a oky pro zavěšení materiálu [6]

Při použití gumového pásu lze využít jeho vlastností jako je ohebnost, čímž se vytvoří uzavřený pás, kterým je možno přepravovat sypký materiál, aniž by byly potřebné přídavné závěsné nádoby pro tento materiál. Pás je otevřen pouze v místě nakládky a vykládky, čímž je zabráněno prašnosti při dopravě. Viz obr. 1.3.1



Obr.1.3.1. Podvěsný dopravník s uzavřeným pásem [5]

2 DOSTUPNÁ LITERATURA

Literatury, která se zabývá problematikou závěsných dopravníků je velmi málo. I když se závěsné dopravníky používají celkem v hojném počtu, je velmi obtížné nalézt jakoukoliv novější literaturu na toto téma.

Jednou z nejobsáhlejších dostupných literatur na toto téma v českém jazyce je kniha **Závěsné řetězové dopravníky** [1]. Tato kniha vyšla v roce 1964. Je rozdělena do několika kapitol, kde se v první kapitole vysvětluje co je závěsný dopravník, jeho použití, rozdělení závěsných dopravníků, volby dopravních rychlostí, dopravního výkonu apod. Druhá, nejdůležitější kapitola této knihy, se zabývá podrobným výpočtem tahu v řetězu, uvádí spoustu potřebných koeficientů pro tento výpočet. Vývoj závěsných dopravníků šel značně kupředu, není možné jednoznačně říci, jestli jsou tyto volené koeficienty v současné době ještě aktuální a to, z důvodu špatné dostupnosti literatury zabývající se problematikou závěsných dopravníků. V této kapitole je uveden i příklad výpočtu tahu v řetězu. Další kapitola se zabývá návrhem pohonů a je v ní i řečeno něco málo o napínací jednotce. Tato kapitola uvádí tři způsoby navrhování pohonných jednotek těchto dopravníků. Následuje kapitola Ovládání a programování dopravníků, kde vývoj šel značně kupředu, proto lze tedy považovat obsah této kapitoly za zastaralý. Pátá kapitola se zabývá typizací hlavních parametrů řetězových dopravníků a vychází z vyráběných prvků pro tyto dopravníky z tehdejší doby. Šestou kapitolou jsou Nosné konstrukce, kde autor uvádí různé způsoby upevnění dopravníku. Poslední kapitolou je ekonomický rozbor.

Druhá kniha, která se zabývá touto problematikou je **Teorie dopravních a manipulačních zařízení** [4]. V této knize je část jedné kapitoly zaměřena na závěsné dopravníky, avšak výpočet je značně zjednodušen oproti předchozí literatuře. Je zde velmi srozumitelně zpracována kontrola rozteče přepravovaných břemen, aby nedocházelo ke kolizi v obloucích nebo ve stoupání a klesání dráhy.

Kniha řešených příkladů **Transportní zařízení** [7] obsahuje kompletní návrh jednodráhového prostorového závěsného dopravníku. Tento výpočet obsahuje výpočet tahu v řetězu, návrh napínací jednotky a výpočet pohonu, kde ovšem počítá s variátorem, který se v dnešní době používá jen zřídka, a to především ve starých provozech. V dnešní době je jeho funkce nahrazována frekvenčními měniči.

Bakalářská práce na téma **Horizontální oběžný zásobník spojovacích materiálů** [11] uvádí výpočet závěsného dopravníku, návrh napínací jednotky, výpočet hnací jednotky, včetně řetězových kol apod. V této práci je zobrazen hnací a hnaný (transportní) řetěz a 3D

model jejich spojení a přenosu krouticího momentu. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších typů hnací jednotky.

Německá kniha **Stetigförderer** [9] věnuje jednu kapitolu závěsným dopravníkům. Tato kapitola obsahuje spoustu detailních fotek různých závěsných dopravníků a schémat, které se týkají spíše způsobů provedení jezdců a závěsů. Jedna kapitola je zde věnována napínací jednotce a jedna je věnována pouze jednomu způsobu řešení hnací jednotky.

Norma **ČSN 26 0607** [12] uvádí bezpečnostní předpisy pro dopravníky a elevátory s řetězy. Tato norma se zabývá převážně problematikou nabíhání řetězu na řetězová kola.

Norma **ČSN ISO 9851** [13] uvádí bezpečnostní předpisy pro poháněné jednodráhové závěsné tratě. Nepojednává přímo o bezpečnostních předpisech pro řetězové závěsné dopravníky, ale některé její body mohou být u nich uplatněny.

Katalog výrobků společnosti **Jervis B. Webb Company** dostupný na [10] obsahuje příslušenství pro řetězové dopravníky, které tato společnost vyrábí. Nabízí: tažné řetězy, jezdce, závěsy, dráhy, oblouky drah apod. V katalogu nabízí i dva druhy bezpečnostních vybavení, pro stoupání nebo klesání dráhy, které zachytí tažný řetěz, aby nedošlo ke zpětnému, popřípadě dopřednému posunu řetězu.

Manuály a katalogy společnosti **Nord – poháněcí technika, s. r. o.** dostupné na [2] obsahují potřebné množství informací k volbě převodového motoru a popisují i funkci brzdy.

3 VÝPOČET JEDNODRÁHOVÉHO ZÁVĚSNÉHO DOPRAVNÍKU

Základem výpočtu jsou zadané parametry, kterých se musí dosáhnout. U prostého dopravníku je to převážně počet přepravovaných kusů, z kterého se vypočte minimální dopravní rychlost a podle uvedené řady, se volí skutečná dopravní rychlost, která bude vyhovovat zadání. Následně se vypočítá dopravní výkon, kde se musí brát ohled především na ekonomické hledisko, poněvadž projekt a následná realizace je poměrně finančně náročná a je vhodné vypočítat i návratnost této investice. Návratnost investice není obsahem této práce, protože se vypočítává jednoduchými matematickými operacemi a hlavně se počítá pro určité zadání. Závěsný dopravník může obsahovat několik oblouků, stoupání a klesání. Z těchto důvodů se provádí kontrola rozteče přepravovaných kusů. V tomto výpočtu jde hlavně o to, aby nedošlo ke kolizi přepravovaných břemen v oblouku, nebo při stoupání a klesání dráhy. Nejdůležitějším výpočtem je výpočet tahu v řetězu. U tohoto výpočtu se volí mnoho koeficientů, které jsou získány jak výpočtem, tak i měřením na různých (skutečných) drahách příslušného typu dopravníku. Výpočet by měl dále obsahovat návrh hnacího a napínacího zařízení a hlavně by měl být proveden pevnostní výpočet pro jezdce a závěsy materiálu. Tento výpočet tato práce neobsahuje, neboť podvěsné dopravníky se využívají ve velké míře a pro mnoho druhů přepravovaných materiálů.

3.1 DOPRAVNÍ RYCHLOST

Dopravní rychlost řetězových dopravníků je vždy mnohem menší než rychlost chůze, takže pro dopravu osob nepřicházejí zpravidla v úvahu. Rychlost se udává v m/min, a pokud není plynule měnitelná ve zvoleném rozsahu, volí se z této vybrané řady:

0,2 0,32 0,5 0,8 1,0 1,25 1,6 2,0 2,5 3,15 4,0 5,0 6,3 8,0 10,0 12,5 16,0 20,0 25,0 31,5 (40).

Podtržené hodnoty jsou doporučené [1].

U prostých závěsných dopravníků se volí dopravní rychlost pokud možno co největší, ale musí být zohledněna nakládka a vykládka materiálu. Při stejném dopravovaném množství a při zvýšení dopravní rychlosti, je možno dosáhnout menšího zatížení dopravníku zvětšením rozestupů mezi závěsy. Tím vznikne menší zatížení na jeden metr dopravníku. Pro ruční nakládku a vykládku se většinou volí dopravní rychlosti v rozmezí od 6,3m/min až do 16m/min. Při větších dopravních rychlostech je nutno řešit automatickou nakládku a vykládku materiálu [1].

U technologických dopravníků se naopak volí dopravní rychlosti pokud možno co nejmenší, nejčastěji do 6,3m/min. Menší rychlosti se volí kvůli prostorové dispozici (na stejnou operaci je potřeba menší plocha výrobní haly). Technologické dopravníky mají co

nejmenší rozestupy mezi dopravovaným materiálem. Dopravník je mnohem více zatížen než prostý závěsný dopravník. Musí se brát zřetel, aby nedošlo ke kolizi jednotlivých břemen (šikmá doprava, oblouky) [1].

Rychlost dopravníku nemusí být vždy konstantní, čehož se využívá především u technologických dopravníků, kde je obvykle potřeba taktovaný chod dopravníku. Změna dopravní rychlosti může být stupňovitá (je zajištěna převážně převodovkami), ale může být zajištěna i řemenicemi s různými průměry. Plynulá změna dopravní rychlosti bývá zajištěna variátorem (především u starších dopravníků) nebo frekvenčním měničem [1].

Minimální rychlost dopravníku:

$$v_{min} = \frac{x \cdot t_b}{60} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.1.1)$$

kde: x – počet dopravovaných předmětů za hodinu [$\text{ks} \cdot \text{h}^{-1}$]

t_b – rozteč dopravovaných předmětů [m]

Zvolená rychlost dopravníku:

$$v = (1,2 \text{ až } 1,3)v_{min} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.1.2)$$

kde: v_{min} – minimální rychlost dopravníku [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

3.2 DOPRAVNÍ VÝKON

Dopravní výkon určuje množství přepraveného materiálu. Lze spočítat dopravní výkon kusový nebo hmotnostní.

a) Dopravní výkon hmotnostní

$$N_d = 0,001 \cdot x \cdot G_m = 0,06 \cdot \frac{v_{min}}{t_b} \cdot G_m \quad [\text{t} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (3.2.1)$$

kde: x – počet dopravovaných předmětů za hodinu [$\text{ks} \cdot \text{h}^{-1}$]

G_m – průměrná hmotnost jednoho kusu materiálu [kg]

v_{min} – minimální rychlost dopravníku [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

t_b – rozteč dopravovaných předmětů [m]

b) Dopravní výkon kusový vztažený na jednu hodinu

Počet dopravovaných kusů za jednu hodinu

$$Q_k = 3600 \cdot i \cdot \frac{v}{t_b} \quad [\text{ks} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (3.2.2)$$

kde: i – počet kusů na jednom závěsu [ks]

t_b – rozteč dopravovaných předmětů [m]

v – zvolená rychlost dopravníku [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

3.3 KONTROLA ROZTEČE PŘEPRAVOVANÝCH KUSŮ

Z dopravního výkonu (rovnice 3.2.1) se určí teoretická rozteč $t_{b \text{ teor.}}$

$$t_{b \text{ teor}} = \frac{0,06 \cdot G_m \cdot v_{\min}}{N_d} \quad [\text{m}] \quad (3.3.1)$$

kde: G_m – průměrná hmotnost jednoho kusu materiálu [kg]

v_{\min} – minimální rychlost dopravníku [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

N_d – dopravní výkon hmotnostní [$\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$]

Z dopravního výkonu (rovnice 3.2.2) se určí teoretická rozteč $t_{b \text{ teor.}}$

$$t_{b \text{ teor}} = \frac{3600 \cdot i \cdot v}{Q_k} \quad [\text{m}] \quad (3.3.2)$$

kde: i – počet kusů na jednom závěsu [ks]

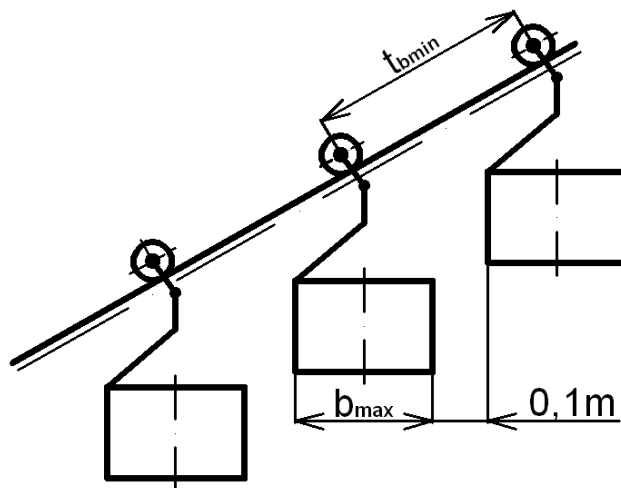
v – zvolená rychlost dopravníku [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

Q_k – dopravní výkon kusový vztažený na jednu hodinu [$\text{ks} \cdot \text{h}^{-1}$]

Skutečná rozteč musí ležet v intervalu hodnot

$$t_{b \text{ teor}} \geq t_b \geq t_{b \min} \quad (3.3.3)$$

Minimální hodnota rozteče $t_{b \min}$ je dána rozměry přepravovaných těles a profilem dráhy (stoupání, klesání, oblouky). Musí být dodržena podmínka dle [4], že přepravovaná tělesa se nesmí přiblížit k sobě na méně než 0,1m.



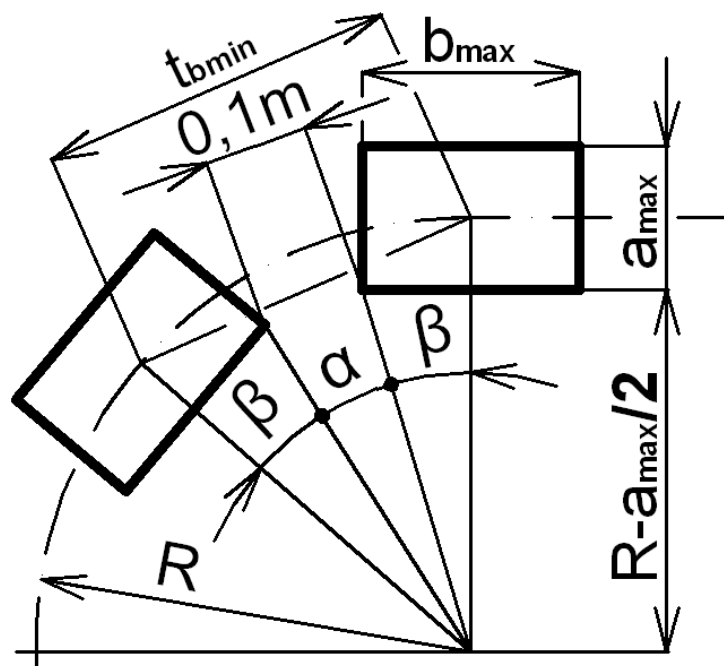
Obr. 3.3.1. Stoupání (klesání) dráhy [4]

Pro stoupání a klesání platí:

$$t_{b \min} \geq \frac{1}{\cos \alpha_{\max}} \cdot (b_{\max} + 0,1) \quad [\text{m}] \quad (3.3.4)$$

kde: α_{\max} – maximální úhel stoupání nebo klesání dráhy [°]

b_{\max} – maximální délka břemene se závěsem ve směru dopravy [m]



Obr. 3.3.2. Vodorovný oblouk dráhy [4]

Pro vodorovný oblouk platí:

$$tg\beta = \frac{b_{max}}{2 \cdot (R - \frac{a_{max}}{2})} \quad [^\circ] \quad (3.3.5)$$

kde: R – poloměr oblouku [m]

a_{max} – maximální šířka břemene se závěsem [m]

b_{max} – maximální délka břemene se závěsem ve směru dopravy [m]

Minimální rozteč u oblouku

$$t_{b\ min} = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\alpha + 2 \cdot \beta}{2} \quad [m] \quad (3.3.6)$$

kde: α – úhel podle obr. 3.3.2. [°]

β – úhel podle obr. 3.3.2. [°]

R – poloměr oblouku [m]

4 ORIENTAČNÍ VÝPOČET TAHU V ŘETĚZU

Výpočet zajišťuje maximální tah v řetězu na okruhu dopravníku a kontroluje minimální tah v řetězu, v nejvíce odlehčeném místě řetězu a určuje závaží napínací jednotky, se zřetelem na její umístění na dráze dopravníku [1].

Vypočtený maximální tah v řetězu smí dosáhnout nejvýše hodnoty, která je dovolená pro daný řetěz dopravníku, se zřetelem na průběh dráhy dopravníku. Nejmenší tah, nutný k správnému chodu dopravníku, nesmí klesnout pod hodnotu asi 490N [1].

4.1 KRITICKÁ MÍSTA PRO VÝPOČET TAHU V ŘETĚZU

Při orientačním výpočtu tahu v řetězu se počítá maximální a minimální tah v řetězu v kritických místech.

Kritická místa jsou [1]:

- a) U vodorovných dopravníků je jedno z kritických míst tam, kde řetěz opouští hnací kolo. U vlnitých dopravníků je to nejnižší položené místo za hnací jednotkou. V tomto místě se volí tah v řetězu jako výchozí hodnota pro výpočet tahu v ostatních místech.
- b) V místě napínací jednotky, která se umísťuje zpravidla tam, kde je nejmenší tah v řetězu. Pokud toto není možné, pak se může napínací jednotka umístit i jinde, ale musí být zabezpečen spolehlivý přenos tahu v místě s nejmenším tahem v řetězu a mezi napínací jednotkou a hnací jednotkou.
- c) Místa, kde je omezen dovolený tah v řetězu (oblouky s hladkými koly, svislé oblouky dráhy, oblouky s malými poloměry). V takových místech se kontroluje dovolený tah v řetězu i dovolené zatížení jezdce.
- d) Kontrolují se místa s malým tahem v řetězu, kde dráha stoupá nebo klesá. Naklonění jezdce od polohy kolmé k dráze musí být menší než 15° (dovolené naklonění dvou sousedních článků řetězu).
- e) U vodorovných dopravníků se kontroluje místo, kde nabíhá řetěz na hnací kolo. U vlnitých dopravníků se kontrolují místa všech vrcholů dráhy tam, kde by mohlo dojít k maximálním hodnotám tahu v řetězu.

4.2 VÝPOČET TAŽENÉ HMOTNOSTI DOPRAVNÍKEM

Tažená hmotnost je hmotnost složená součtem hmotností všech dopravovaných předmětů, závěsů, jezdců a řetězů, tj. všechny části dopravníku, které jsou na daném dopravovaném okruhu v pohybu.

$$Q = q_{\text{ř}} \cdot L + i_j \cdot G_j + i_v \cdot G_v + i_z \cdot G_z + i_m \cdot G_m \quad [\text{kg}] \quad (4.2.1)$$

kde: $q_{\text{ř}}$ – hmotnost řetězu na jeden metr délky [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$]

L – délka řetězu [m]

i_j – počet jezdců [ks]

G_j – hmotnost jednoho jezdce [kg]

i_v – počet vozíků [ks]

G_v – hmotnost jednoho vozíku [kg]

i_z – počet závěsů materiálu [ks]

G_z – hmotnost jednoho závěsu [kg]

i_m – počet kusů materiálu na dopravníku [ks]

G_m – průměrná hmotnost jednoho kusu materiálu [kg]

Výrobce někdy uvádí hmotnosti řetězu a jezdců dohromady. Potom lze psát:

$$q_{\text{ř}} \cdot L + i_j \cdot G_j = q \cdot L \quad [\text{kg}] \quad (4.2.2)$$

kde: q – hmotnost řetězu a jezdců na jeden metr [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$]

L – délka řetězu [m]

i_j – počet jezdců [ks]

G_j – hmotnost jednoho jezdce [kg]

$q_{\text{ř}}$ – hmotnost řetězu na jeden metr délky [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$]

Po dosazení do rovnice (4.2.1) lze tuto rovnici zjednodušit na tvar:

$$Q = q \cdot L + i_v \cdot G_v + i_z \cdot G_z + i_m \cdot G_m \quad [\text{kg}] \quad (4.2.3)$$

kde: q – hmotnost řetězu a jezdců na jeden metr [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$]

L – délka řetězu [m]

i_v – počet vozíků [ks]

G_v – hmotnost jednoho vozíku [kg]

i_z – počet závěsů materiálu [ks]

G_z – hmotnost jednoho závěsu [kg]

i_m – počet kusů materiálu na dopravníku [ks]

G_m – průměrná hmotnost jednoho kusu materiálu [kg]

Nyní je možno provést kontrolu zatížení dopravníku na 1m. Dovolenu hodnotu zatížení uvádí výrobce pro každý typ dopravníku jinou. Skutečné zatížení na 1 metr dopravníku se získá podělením tažné hmotnosti délkou dopravníku:

$$q_c = \frac{Q}{L} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (4.2.4)$$

kde: Q – tažená hmotnost dopravníkem [kg]

L – délka řetězu [m]

Pro výpočet složky tahu vyvolané pohybem materiálu na sklonech se uvažuje maximální zatížení v zatížené části okruhu a dosazuje se za $L = L_q$, kde L_q je délka zatížené části a za $Q = Q_q$, kde Q_q je váha taženého materiálu v zatížené části, což je nutné, není-li váha materiálu rozložena rovnoměrně na celém okruhu dopravníku [1].

4.3 ORIENTAČNÍ VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO TAHU V ŘETĚZU

Při orientačním výpočtu je předpokládáno, že hnací jednotka je na konci zatíženého úseku dráhy v nejvyšším místě okruhu. Rychlost pohybu nemá při uvažovaném rozsahu možných rychlostí podstatný vliv na odpory, a proto se neuvažuje [1].

$$T = k_c \cdot P + Q \cdot g \cdot f_c + L_a \cdot u_c + h_r \cdot g \cdot \frac{Q}{L_q} \quad [\text{N}] \quad (4.3.1)$$

kde: k_c – součinitel zvýšení počátečního tahu vlivem odporů [1] dle tab. 4.3.

P – nejnižší přípustný tah v řetězu [N] dle tab. 4.3.

Q – tažená hmotnost dopravníkem [kg]

f_c – orientační součinitel valivých odporů [1] dle tab. 4.3.

L_a – délka řetězu na okruhu [m]

u_c – orientační hodnota základních odporů nezávislá na hmotnosti materiálu [N]
dle tab. 4.3.

L_q – délka zatížené části [m]

h_r – výškový rozdíl mezi místem s největším a nejmenším tahem [m]

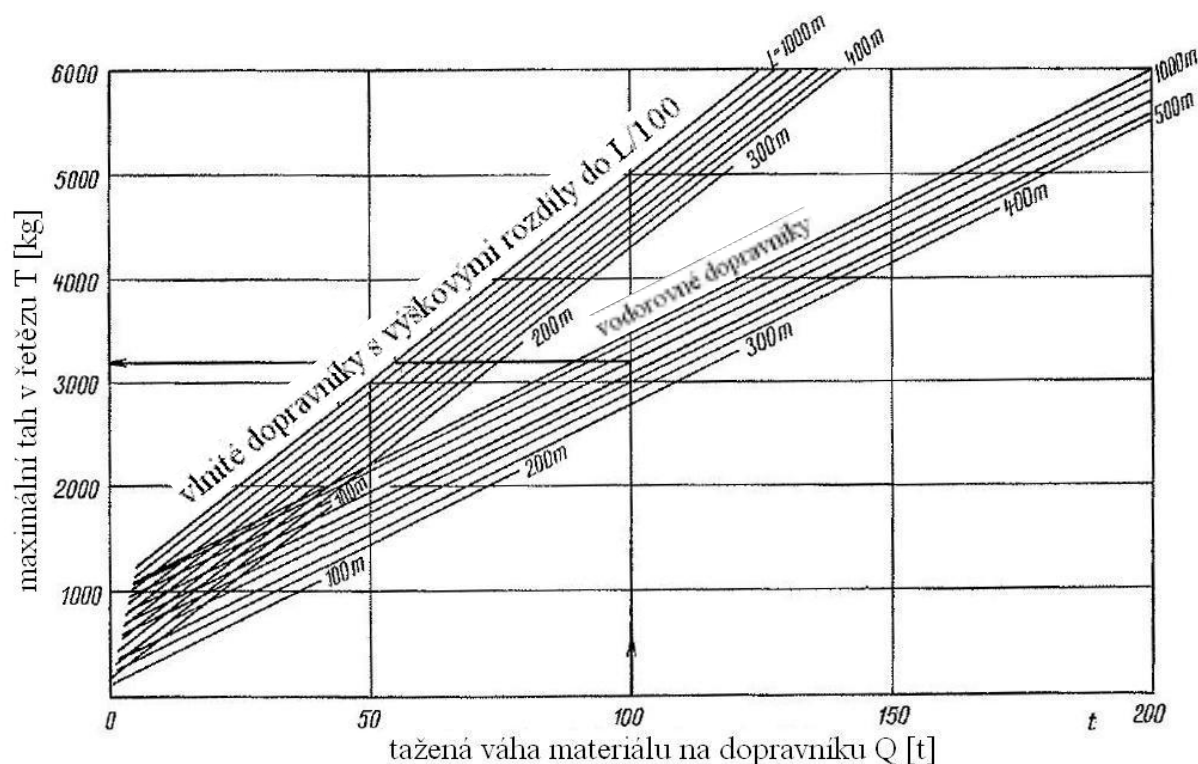
g – tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Tab.4.3. Hodnoty pro orientační výpočet tahu v řetězu [1]

Druh dopravníku	k_c	P [N]	f_c	u_c [N]
Podvěsný jednodráhový:				
vodorovný	1,5	490,5	0,015 až 0,025	7,36
vlnitý	1,5	490,5	0,020 až 0,030	7,36
Podvěsný dvoudráhový:				
vodorovný	1,5	981	0,015 až 0,020	9,81
vlnitý	2	981	0,020 až 0,030	14,72
Prostorový jednodráhový:				
vodorovný	2,5	490,5	0,030 až 0,040	14,72
vlnitý	3,5	490,5	0,040 až 0,050	16,68
Prostorový dvoudráhový:				
vodorovný	2,5	981	0,030 až 0,040	16,68
vlnitý	3,5	981	0,040 až 0,050	19,62

Pozn.: Orientační hodnoty základních odporů nezávislých na hmotnosti materiálu u_c [N] platí pro nezaběhnutý dopravník. Po záběhu klesá tato hodnota asi na 20%.

Hodnoty součinitele zvýšení počátečního tahu vlivem odporů k_c [N] platí pro dráhu asi s 15 až 20 oblouky vodorovnými, nebo pro vlnitou dráhu s 20 až 30 oblouky.



Obr.4.3 Maximální tah v řetězu u vodorovných a vlnitých jednodráhových podvěsných dopravníků při délkách 100 až 1000m (příklad: vodorovný dopravník o délce 700m a váze zavěšeného materiálu 100t má maximální tah v řetězu 3200kg) [1].

5 PODROBNÝ VÝPOČET TAHU V ŘETĚZU

Orientační výpočet tahu v řetězu udává pouze přibližné hodnoty tahu v řetězu, které jsou ovlivněny několika předpoklady. Proto se uvádí podrobný výpočet tahu v řetězu, který zahrnuje zjednodušující předpoklady. Tento výpočet nikdy nebude totožný s naměřenými hodnotami na skutečném dopravníku, za což mohou zjednodušující předpoklady. Tyto předpoklady značně zjednodušují výpočet na úkor přesnosti. Vzniklá chyba ve výpočtu je zanedbatelná, proto lze tyto předpoklady použít [1].

5.1 ZÁSADY PODROBNÉHO VÝPOČTU TAHU V ŘETĚZU

Doposud se počítal tah v řetězu postupně od jednoho místa k druhému. Tato metoda má několik nevýhod. Jednou z nich je, že výpočet postupoval od místa k místu, čímž se vzniklá nepřesnost na začátku výpočtu táhla celým výpočtem a ovlivňovala ho. Podrobný výpočet je přesnější, protože je možno vypočítat tah v řetězu v jednotlivých místech dráhy, a tím odpadá nesení nepřesnosti prvního výpočtu celým výpočtem. Postupný výpočet dále neuvažoval s kolísáním tahu v řetězu, které vzniká při provozu. Podrobným výpočtem lze stanovit tah v řetězu v kterémkoliv místě dráhy nezávisle na jiném místě. Tah v řetězu je počítán vždy pro zaběhnutý dopravník, který pracuje v čistém (neprašném) prostředí. U dopravníků, které jsou používány v nepříznivých podmínkách je výsledek tahu v řetězu násoben součinitelem pro výpočet tahu v řetězu za ztížených podmínek, který je uveden v tab. 5.3.7. [1].

5.2 ZJEDNODUŠUJÍCÍ PŘEDPOKLADY PRO PODROBNÝ VÝPOČET TAHU V ŘETĚZU

Prvním předpokladem je, že odpory ve všech redukováných obloucích dráhy jsou stejné a rovnají se průměrné hodnotě, která byla vypočtena z měření dopravníku s velkým počtem oblouků. Odpory ve stejných obloucích, se stejným úhlem opásání a poloměrem, se ve skutečnosti značně liší, ale při větším počtu oblouků dochází k vyrovnaní těchto odchylek [1].

Druhým předpokladem je zjednodušení přepočtu odporů v obloucích o různém úhlu na základě přímé závislosti odporů na úhlu oblouku. Ve skutečnosti tomu tak nikdy není, avšak je-li počet oblouků o menším nebo větším úhlu proti počtu tzv. redukováných oblouků o zvoleném středním úhlu oblouku malý, je vzniklá chyba zanedbatelná, zejména když chyby vzniklé přepočtem menších a větších úhlů se vzájemně částečně eliminují [1].

Třetím předpokladem je rovnoměrně rozložená váha materiálu mezi jednotlivými redukovánými oblouky dráhy. Tento předpoklad umožňuje použití výpočtových tabulek,

značně zjednodušujících výpočet. Předpoklad není nikdy přesně dodržen, avšak jak ukázaly kontrolní výpočty od místa k místu, nejsou při větším počtu oblouků podstatné rozdíly mezi oběma metodami výpočtu a se zvětšujícím se počtem oblouků se v mnoha případech rozdíly zmenšují. Jedině při značných odchylkách od tohoto předpokladu, např. je-li polovina délky dopravníku zatížena a polovina prázdná, doporučuje se počítat oba úseky zvlášť [1].

5.2.1 VÝPOČET SOUČiniteLE ZVÝŠENÍ TAHU V OBLOUKU

Odpor v oblouku uvádí rovnice (5.2.1.1)

$$O = T'' - T' = P_o + P_k \quad [\text{N}] \quad (5.2.1.1)$$

kde: T'' - tah za obloukem [N]

T' - tah před obloukem [N]

P_o - složka odporu závislá na tahu v řetězu [N]

P_k - složka odporu nezávislá na tahu v řetězu [N] dle tab. 5.2.1.

V dalším výpočtu se bude složka nezávislá na tahu v řetězu P_k [N] používat samostatně a zahrnovat do základních odporů dopravníku. Po tomto předpokladu se rovnice (5.2.1.1) zjednoduší na tvar:

$$T'' - T' = P_o = f_o \cdot T' \quad [\text{N}] \quad (5.2.1.2)$$

kde: f_o - součinitel odporu v oblouku [1]

Využitím rovnice (5.2.1.2) lze spočítat tah za obloukem T''

$$T'' = P_o + T' = f_o \cdot T' + T' = T'(f_o + 1) = k \cdot T' \quad [\text{N}] \quad (5.2.1.3)$$

kde: k - součinitel zvýšení tahu v oblouku [1]

V dalším výpočtu se použije součinitel zvýšení tahu v oblouku $k = f_o + 1$, jedná se o hledaný součinitel zvýšení tahu v oblouku.

5.2.2 STANOVENÍ POČTU REDUKOVANÝCH OBLOUKŮ

U podvěsných řetězových dopravníků se určuje redukovaný oblouk rovný kolovému oblouku o úhlu 90° s ozubeným opěrným kolem nejmenším používaném poloměru oblouku. I když odpory v oblouku nejsou přímo úměrné úhlu oblouku (u oblouků o úhlech nad 90° se již podstatně nezvětšují), předpokládá se přímá závislost. Protože svislé oblouky o úhlu 30° až 45° mají po odečteních základních odporů koleček jezdců P_k zhruba stejné odpory jako vodorovné oblouky s opěrným ozubeným kolem o úhlu 90° , počítají se jako rovnocenné. U svislých oblouků však odpory rostou se zvětšováním úhlu oblouku exponenciálně, a chyba

vzniklá přepočtem uvažujícím přímou úměrnost má opačný smysl než u oblouků vodorovných. Při různých úhlech oblouků větších a menších se tyto chyby částečně eliminují [1].

Pro podvěsné dopravníky platí

$$n = \frac{\sum \alpha_{vz}}{90^0} + \frac{\sum \alpha_{vo}}{270^0} + \frac{\sum \alpha_s}{45^0} \quad [1] \quad (5.2.2.1)$$

kde: α_{vz} – součet úhlů oblouků s ozubenými koly ve vodorovné rovině [°]

α_{vo} – součet úhlů oblouků s hladkými koly ve vodorovné rovině [°]

α_s – součet úhlů všech oblouků ve svislé rovině [°]

Pro prostorové dopravníky platí

$$n = \frac{\sum \alpha_v}{90^0} + \frac{\sum \alpha_s}{120^0} \quad [1] \quad (5.2.2.2)$$

kde: α_v – součet úhlů všech oblouků ve vodorovné rovině [°]

α_s – součet úhlů všech oblouků ve svislé rovině [°]

5.2.3 VÝPOČET SLOŽKY TAHU VYVOLANÉ POČÁTEČNÍM TAHEM V ŘETĚZU

Pokud je znám tah v řetězu na začátku počítaného úseku, počet redukovaných oblouků v tomto úseku, pak je lze určit tah na konci počítaného úseku z rovnice (5.2.3.1)

$$T_p = P_p \cdot k^n \quad [N] \quad (5.2.3.1)$$

kde: P_p – tah v řetězu na počátku počítaného úseku [N]

k – součinitel zvýšení tahu v oblouku [1]

n – počet redukovaných oblouků [1]

k^n – dle přílohy 1, 2 nebo 3

Tab. 5.2.1. Součinitel zvýšení tahu v redukovaném oblouku a odpor jednoho metru běžného dopravníku [1]

Druh dopravníku	u [N·m ⁻¹]	k
Podvěsný jednodráhový	4,9 až 6,9	1,025
Podvěsný dvoudráhový	6,9 až 9,8	
Prostorový jednodráhový	7,8 až 11,8	1,050
Prostorový dvoudráhový	11,8 až 14,7	
Základní odpor kladky nebo kolečka ø 50 až 100mm P _j =0,98 až 1,96 N, základní odpor vodorovného kola dráhy ø 500 až 1000mm P _k = 4,9 až 9,8 N.		

Pozn.: Pro zaběhnutý dopravník lze uvažovat jen 20% odporů u, P_j a P_k.

5.2.4 VÝPOČET SLOŽKY TAHU VYVOLANÉ POSTUPNĚ PŘIBÝVAJÍCÍMI ODPORY

Je nutné zavést další zjednodušující předpoklad, že přírůstek odporů mezi dvěma oblouky dráhy je vždy stejný.

Pokud je možno určit váhu materiálu mezi dvěma oblouky vztahem:

$$Q_n = \frac{Q}{n} \quad [\text{kg}] \quad (5.2.4.1)$$

kde: Q – tažená hmotnost dopravníkem [kg]

n – počet redukovaných oblouků [1]

Potom lze sestavit rovnici pro tah na konci úseku:

$$T_k = Q \cdot g \cdot f \cdot k^n \cdot \varphi \quad [\text{N}] \quad (5.2.4.2)$$

kde: Q – tažená hmotnost dopravníkem [kg]

n – počet redukovaných oblouků [1]

k – součinitel zvýšení tahu v oblouku [1]

φ – součinitel snížení tahu v řetězu [1]

g – tíhové zrychlení [m·s⁻²]

Hodnota součinitele snížení tahu v řetězu φ [1] je vždy menší než 1. Hodnoty součinu kⁿ · φ popřípadě f_c = f · kⁿ · φ jsou uvedeny v příloze 1 a 2 f_c = f · kⁿ · φ platí pro rovnoměrně zatížené dopravníky mezi jednotlivými oblouky.

5.3 VÝPOČET TAHU V ŘETĚZU V LIBOVOLNÉM MÍSTĚ DOPRAVNÍKU

Tah v libovolném místě dopravníku lze určit jako součet na sobě nezávislých složek tahu v řetězu.

$$T_l = T_U + T_P + T_Q + T_H + T_K + T_O \quad [N] \quad (5.3.1)$$

kde: T_U – složka tahu vyvolaná odpory závislými na délce řetězu, počtu kol a koleček [N]

T_P – složka tahu vyvolaná počátečním tahem v řetězu [N]

T_Q – složka tahu vyvolaná valivými odpory hmotnosti taženého materiálu [N]

T_K – složka tahu vyvolaná různým zatížením na sklonech dráhy [N]

T_O – složka tahu vyvolaná přídatnými odpory dopravníku [N]

T_l – tah v řetězu v libovolném místě dopravníku [N]

T_H – složka tahu vyvolaná výškovými rozdíly mezi počátkem a koncem počítaného úseku [N]

5.3.1 VÝPOČET SLOŽKY TAHU T_P

Složka tahu T_P [N] je vyvolána počátečním tahem v řetězu na počátku počítaného úseku, která je určena výpočtem předchozího úseku nebo se volí [1].

$$T_P = P_p \cdot k^n \quad [N] \quad (5.3.1.1)$$

kde: P_p – tah v řetězu na počátku počítaného úseku [N]

jde-li o minimální tah, dosazuje se podle tab. 4.3.

n – počet redukovaných oblouků [1]

k – součinitel zvýšení tahu v oblouku [1]

k^n – dle přílohy 1, 2 nebo 3

Při plném zatížení dopravníku se dosazuje do výpočtu tah P_p [N], vyvolaný pouze závažím napínací jednotky (počítá se od místa nejmenšího tahu), a neuvažuje se předpětí řetězu, které se má při plném zatížení dopravníku zrušit vlivem pružnosti řetězu [1].

5.3.2 VÝPOČET SLOŽKY TAHU T_U

Složka tahu T_U [N] je vyvolána odpory nezávislými na zatížení, ale závislými na délce řetězu, počtu kol a koleček [1].

$$T_U = u \cdot L_p \cdot k^n \cdot \varphi = (U' + U'') \cdot k^n \cdot \varphi \quad [N] \quad (5.3.2.1)$$

kde: u – odpor jednoho metru běžného dopravníku [$N \cdot m^{-1}$] dle tab. 5.2.1

L_p – délka řetězu v počítaném úseku dráhy [m]

n – počet redukovaných oblouků [1]

k – součinitel zvýšení tahu v oblouku [1]

φ – součinitel snížení tahu v řetězu [1]

U' – součet vlastních odporů jezdců a vozíků na vodorovné přímé dráze při chodu na prázdko [N]

U'' – součet vlastních odporů kolových a válečkových oblouků na dráze dopravníku při nulovém tahu v řetězu [N]

$k^n \cdot \varphi$ – dle přílohy 1, 2 nebo 4

Hodnoty odporu u pro neznámý počet kladek a koleček se volí z tabulky 5.2.1

Vlastní odpor u je možno určit podle rovnice:

$$u = \frac{T_u - T_p}{L_p \cdot k^n \cdot \varphi} \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (5.3.2.2)$$

kde: T_u – složka tahu vyvolaná odpory závislými na délce řetězu, počtu kol a koleček [N]

T_p – složka tahu vyvolaná počátečním tahem v řetězu [N]

L_p – délka řetězu v počítaném úseku dráhy [m]

n – počet redukovaných oblouků [1]

k – součinitel zvýšení tahu v oblouku [1]

φ – součinitel snížení tahu v řetězu [1]

$k^n \cdot \varphi$ – dle přílohy 1, 2 nebo 4

Za hodnotu T_u se dosadí tah v řetězu pro nulovou hmotnost taženého materiálu.

Pro známý počet kladek a koleček se použije druhá část rovnice (5.3.2.1), kde platí:

$$U' = \sum P_j \quad [\text{N}] \quad (5.3.2.3)$$

kde: P_j – základní odpor kladky nebo kolečka [N] dle tab. 5.2.1

$$U'' = \sum P_k \quad [\text{N}] \quad (5.3.2.4)$$

kde: P_k – základní odpor vodorovného kola dráhy [N] dle tab. 5.2.1.

5.3.3 VÝPOČET SLOŽKY TAHU T_Q

Složka tahu T_Q [N] je vyvolána valivými odpory taženého materiálu [1].

$$T_Q = Q \cdot g \cdot f \cdot k^n \cdot \varphi = Q \cdot f_c \quad [\text{N}] \quad (5.3.3.1)$$

kde: Q – hmotnost materiálu, řetězu a jezdců v počítaném úseku dráhy [kg] dle rovnice 4.2.1.

f – součinitel valivých odporů [1] dle tab. 5.3.3

f_c – výsledný součinitel valivých odporů [1] dle přílohy 1 nebo 2

$k^n \cdot \varphi$ - dle přílohy 1, 2 nebo 4
 g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

Tab.5.3.3 Hodnoty součinitele valivých odporů f [1]

Kolečko	Jízdní plocha	Průměr kladky nebo kolečka D [mm]					
		40	50	65	80	100	125
soudkovité	hladká	0,010	0,009	0,008	0,0075	0,007	0,0066
soudkovité	hrubá	0,015	0,013	0,011	0,0100	0,009	0,0082
válcovité	hladká	0,020	0,017	0,015	0,0125	0,011	0,0100
válcovité	hrubá	0,030	0,025	0,021	0,0175	0,015	0,0125

5.3.4 VÝPOČET SLOŽKY TAHU T_H

Složka tahu T_H [N] je vyvolána výškovými rozdíly mezi počátkem a koncem počítaného úseku za předpokladu rovnoměrného rozložení váhy materiálu, nezávislá na sklonech dráhy [1].

$$T_H = q_c \cdot g \cdot h_r \cdot k^{n_1} \quad [\text{N}] \quad (5.3.4.1)$$

kde: q_c – skutečné zatížení dopravníku na jeden metr [$kg \cdot m^{-1}$]

h_r – výškový rozdíl mezi začátkem a koncem počítaného úseku [m]

pokud je konec níže, než začátek dosazuje se záporná hodnota

n_1 – počet redukovaných oblouků majících vliv na tuto složku [1]

k^{n_1} - dle přílohy 1 nebo 2

g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

Počet redukovaných oblouků pro složku T_H nelze stanovit přesně, protože se tato složka mění úměrně s výškovým rozdílem (s výškou se zvětšuje) a je tedy ovlivňována pouze odpory v těch obloucích, které jsou nad výchozí rovinou, kde je tato složka tahu větší než nula. Neuvažují se oblouky v nejnižší úrovni dopravníku. Je-li dráha v několika rovinách, počítá se odhadem, např. tak, že se uvažují oblouky v horní polovině výškového rozdílu [1].

5.3.5 VÝPOČET SLOŽKY TAHU T_K

Složka tahu T_K [N] je vyvolána různým měrným zatížením na sklonech dráhy. Není závislá na výškových rozdílech, ale na úhlu sklonu dráhy [1].

$$T_K = \pm G_k \cdot \sin \gamma \cdot k^{n_2} \cdot \varphi \cdot g \quad [\text{N}] \quad (5.3.5.1)$$

kde: G_k – zvětšení nebo zmenšení hmotnosti materiálu na daném sklonu dráhy [kg] dle tab. 5.3.5 nebo 5.3.6

γ – úhel sklonu dráhy [°]

g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

n_2 – počet redukovaných oblouků majících vliv na tuto složku [1]

$k^{n_2} \cdot \varphi$ – výsledný součinitel [1] dle přílohy 1 nebo 2

Hodnota G_k je závislá na sklonu dráhy určité délky, kde se vlivem pohybu řetězu mění počet dopravovaných kusů vždy o jeden. Tato změna se projeví kolísáním váhy o $\pm 50\%$ hmotnosti jednoho předmětu. Hodnota G_k se určí podle počtů sklonů dráhy dle tab. 5.3.5.

Tab. 5.3.5 Závislost G_k na počtu sklonů dráhy

Počet sklonů	G_k
1	$0,5 \cdot G$
2	$(0,7 \text{ až } 1,0) \cdot G$
3	$(0,9 \text{ až } 1,4) \cdot G$
4	$(1,1 \text{ až } 1,6) \cdot G$
5 a více	$(1,3 \text{ až } 1,8) \cdot G$

Za hodnotu G se dosazuje součet hmotnosti jezdce a závěsu.

$$G = G_j + G_z \quad [\text{kg}] \quad (5.3.5.2)$$

kde: G_j – hmotnost jednoho jezdce [kg]

G_z – hmotnost jednoho závěsu [kg]

Uvažuje se jen největší úhel sklonu dráhy γ . Pokud je složka tahu T_K významnou složkou tahu v řetězu poté záleží na pořadí sklonu.

Tab. 5.3.6 Závislost G_k na pořadí sklonu dráhy

Pořadí sklonu	G_k
první	$0,5 \cdot G$
druhý	$0,4 \cdot G$
třetí	$0,3 \cdot G$
čtvrtý	$0,2 \cdot G$
pátý	$0,1 \cdot G$

Pokud je na dráze více sklonů, než je uvedeno v tab. 5.3.6 tak se ostatní sklony zanedbávají a uvažuje se pouze prvních pět.

5.3.6 VÝPOČET SLOŽKY TAHU T_O

Složka tahu T_O [N] je vyvolaná přídatnými odpory.

$$T_O = P_{po} \cdot k^{n_3} \cdot \varphi \quad [\text{N}] \quad (5.3.6.1)$$

kde: P_{po} – přídatné odpory technologických dopravníků [N]

n_3 – počet redukovaných oblouků mezi prvním místem vzniku přídatného odporu a místem počítaného tahu [1]

$k^{n_3} \cdot \varphi$ – výsledný součinitel [1] dle přílohy 1 nebo 2

5.3.7 TAH V ŘETĚZU ZA ZTÍŽENÝCH PODMÍNEK

Pokud je dopravník používán v jiném než čistém prostředí (prašné, korozivní atd.) násobí se výsledná hodnota tahu v řetězu koeficientem k_p (tab. 5.3.7), který zohledňuje nepříznivé provozní prostředí.

$$T_{kor} = T_l \cdot k_p \quad [\text{N}] \quad (5.3.7.1)$$

kde: T_l – tah v řetězu v libovolném místě dopravníku [N] dle rovnice 5.3.1

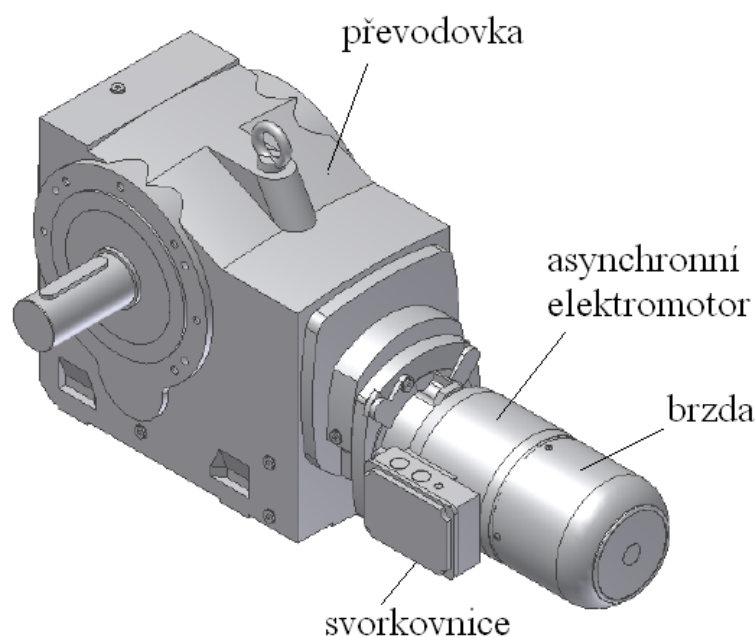
k_p – součinitel pro výpočet tahu v řetězu za ztížených podmínek [1] dle tab. 5.3.7

Tab. 5.3.7 Součinitele pro výpočet tahu v řetězu za ztížených podmínek [1]

Charakter provozních podmínek	k_p
Ve středně obtížných podmínkách v prostředí s jemným nebo měkkým prachem, při zvýšené vlhkosti, avšak v neagresivním prostředí, např. ve strojních dílnách, skladech, dřevoobráběcích dílnách, balírnách, čalounických dílnách apod.	1,2 až 1,3
V těžkých provozních podmínkách s velkým množstvím tvrdého, hrubého prachu a v korozivním prostředí, např. ve slévárnách, kovárnách, lakovnách, sušárnách a pecích, mořících vanách apod.	1,3 až 1,5
Při rozběhu	1,5 až 1,8

6 POHONY

Jako pohonné jednotky pro závěsné dopravníky se používají výhradně asynchronní elektromotory s kuželočelní převodovkou. Kuželočelní převodovka se používá především z důvodu menších zástavbových prostorů a také i z estetického hlediska. Mohou se však používat téměř všechny druhy převodovek. Rychlým zastavením dopravníku mohou být na výstupní hřídel převodovky přiváděny rázy vlivem setrvačnosti břemen. Brzda na motoru je nastavitelná pomocí počtu pružin, čímž se nastavuje potřebný brzdný moment. Kdyby nebyl správně nastaven brzdý moment a byl by příliš vysoký, mohl by ráz, který jde od výstupního hřídele, zničit převodovku. Tato brzda je nejpoužívanější u všech typů dopravníků. V případě pouze jednosměrného provozu, se pojistná brzda může řešit pomocí západky v převodovce. Plynulý rozjezd a dojezd dopravníku řeší frekvenční měnič, který je v současné době nejčastěji umístěn přímo na motoru, pokud je tato koncepce možná. Frekvenčním měničem se dále nastavují otáčky elektromotoru, a tím i změna převodového poměru, která je plynulá.



Obr. 6. Převodový motor [2]

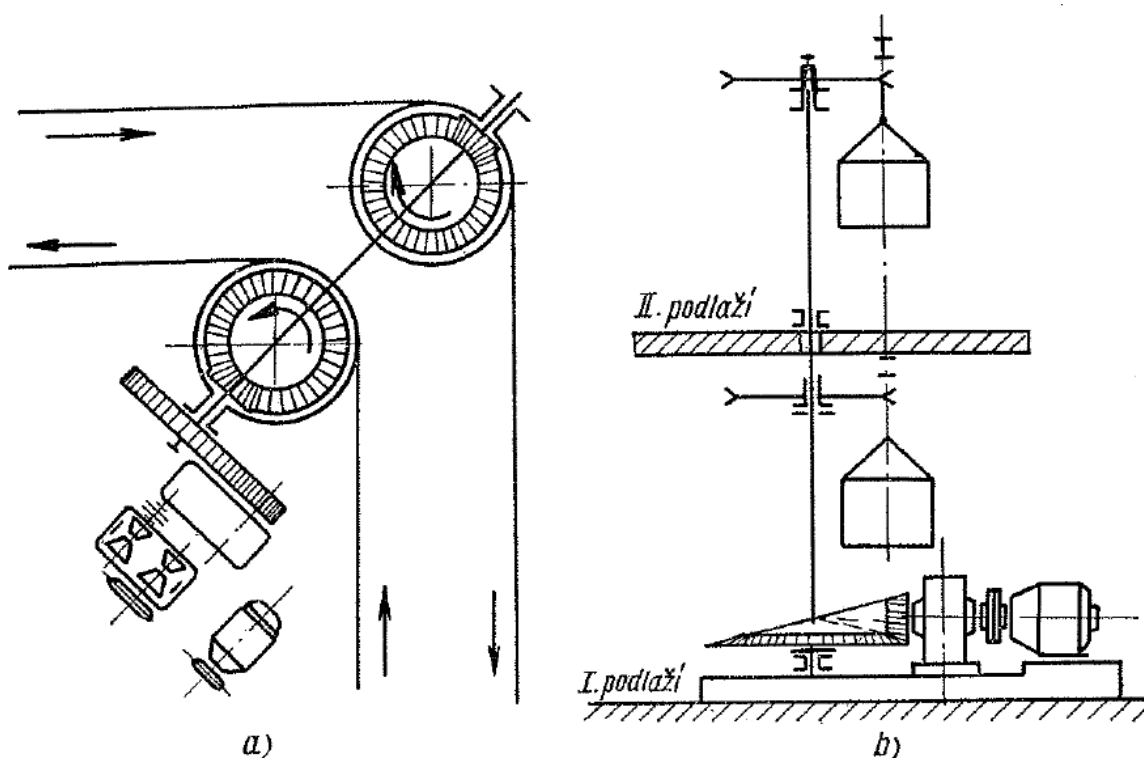
6.1 SEKUNDÁRNÍ PŘEVOD

Primární převod tvoří převodovka. Sekundární je tvořen ve většině případů řetězovým kolem a řetězem.

6.2 SDRUŽENÝ POHON

Využívá jeden elektromotor s převodovkou, avšak výstup je pomocí mechanických převodů rozveden na více míst. Tento pohon má omezené využití, protože dráhy musí být pokud možno co nejbližší u sebe a přibližně stejné. První takové možné řešení je vodorovné

(viz. obr. 6.2. a)). Další řešení může být svislé a tedy i mezi patrové, kde elektromotor s převodovkou je umístěn v jednom patře a pomocí dlouhých hřídelů vedoucích skrz stropy (podlahy) je přenesen točivý moment do dalšího patra a tudíž i k dalšímu dopravníku (viz. obr. 6.2. b)). Tato metoda se moc nepoužívá, neboť velkou nevýhodou je velké rozpětí mezi jednotlivými dopravníky, složité upevnění mechanického hřídele, díry ve stropě (podlaze) apod. [1].



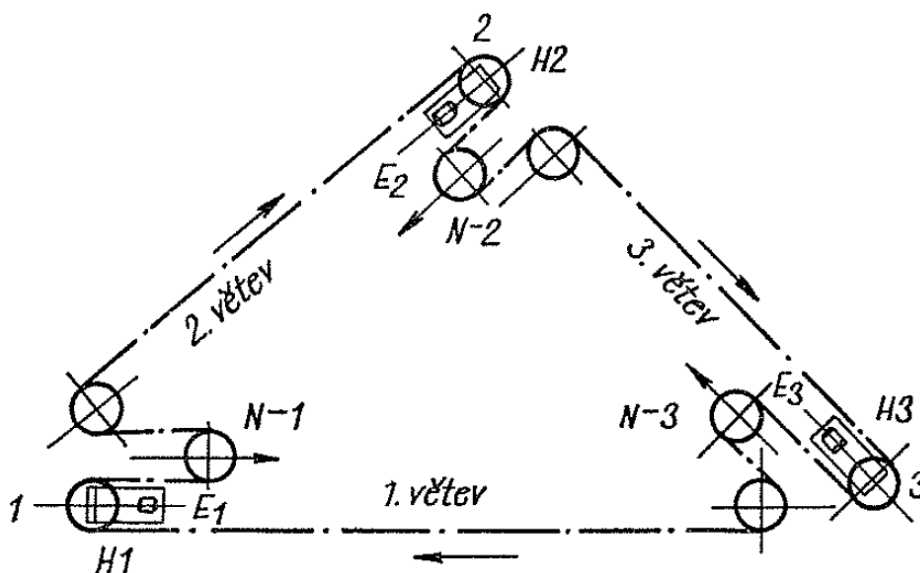
Obr. 6.2. Schéma sdrženého pohonu [1]

6.3 NĚKOLIKANÁSOBNÝ POHON SE SPOLEČNĚ PRACUJÍCÍMI HNACÍMI JEDNOTKAMI

Na dráze je použito více hnacích a napínacích jednotek, které nejsou k sobě nijak mechanicky ani elektronicky vázány. Jediné co mají tyto jednotky společného, je jeden tažný člen (řetěz), který je spojuje. Přenos krouticího momentu, je řešen řetězovým kolem přímo na tažný řetěz. Úhly opásání hnacích řetězových kol jsou v rozmezí 90° - 180° . Je možná i kombinace se sdrženým pohonem. Schéma trojnásobného pohonu je na obr. 6.3.. Nejdůležitější předpoklad pro tento typ pohonu je, že všechny části řetězu musí mít stálou předepsanou rychlost. Okamžitá rychlost se však během přepravy mění vlivem funkce napínací jednotky, pružnosti řetězu. Střední rychlost ale musí zůstat stálá [1].

Pro rovnoměrné rozdělení kroutících momentů, musí elektromotory splňovat tyto parametry:

- Všechny použité elektromotory musí být stejné (stejný typ, výkon, počet otáček, stejné charakteristiky)
- Elektromotory musí mít skluz 10 až 15%. Čím větší je předpokládaná nerovnoměrnost zatížení, tím větší musí být skluz. [1]



Obr. 6.3. Schéma dopravníku s trojnásobným pohonem [1]

6.3.1 PRINCIP POHONŮ SE SPOLEČNĚ PRACUJÍCÍMI ELEKTROMOTORY

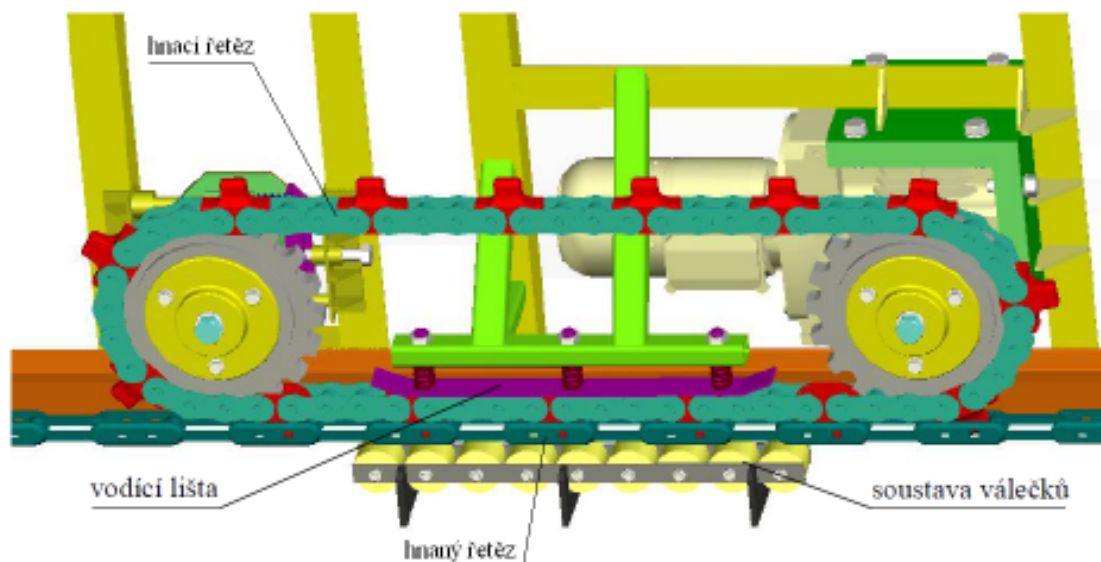
Při společné funkci několika elektromotorů spojených jedním tažným řetězem se využívá té vlastnosti asynchronních elektromotorů, že své otáčky automaticky přizpůsobují zatížení. Při větším zatížení se počet otáček elektromotoru zmenšuje a naopak. Tato vlastnost umožňuje vyrovnávat zatížení a ustálit chod elektromotorů na stejné hodnotě kroutícího momentu u všech hnacích jednotek, nezávisle na velikosti zatížení oddělených větví dopravníku [1].

6.3.2 NAPÍNACÍ JEDNOTKA

Každá větev dopravníku musí mít svou hnací a napínací jednotku, tudíž každá hnací jednotka musí mít i svou napínací jednotku. V případě, že by se použila pouze jedna napínací jednotka, tak by napínací síla musela být tak velká, aby zajistila předpětí na všech hnacích kolech. Toto předpětí by v takovém případě muselo být mnohem větší než maximální možný doplňkový tah. Tím by několikrát narostl maximální tah v řetězu. Jedna napínací jednotka by nemohla zajistit potřebné předpětí ve všech sbíhajících větvích [1].

6.4 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ ŘEŠENÍ

Princip přenosu krouticího momentu je ve tvarovém styku hnacího a hnaného řetězu, které do sebe zapadají a tak je přenášen krouticí moment. Toto řešení zaručuje dostatečný úhel opásání hnacího řetězového kola a rozměry hnacího řetězového kola pro takové uspořádání mohou být několikrát menší, než kdyby bylo toto kolo umístěno v oblouku dráhy. Takových hnacích jednotek může být na dráze více a tím vzniká vícenásobný pohon.



Obr. 5.5. Záběr hnacího a hnaného řetězu [11]

6.4.1 VÝKON ELEKTROMOTORU

$$P_m = \frac{F_o \cdot v}{\eta} \quad [\text{W}] \quad (6.4.1)$$

kde: F_o – obvodová síla hnacího řetězu [N]

v – rychlost řetězu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

η – účinnost převodovky [1]

Obvodová síla hnacího řetězu F_o [N] se určí jako rozdíl tahové síly na nabíhající straně řetězového kola a tahové síly na sbíhající straně řetězového kola.

Účinnost převodovky η se volí podle typu předpokládané převodovky a po zvolení dané převodovky se tato účinnost znovu přepočítává.

Podle vypočteného výkonu elektromotoru bude vybrán od některého výrobce asynchronní elektromotor s brzdou a převodovkou, která bude vyhovovat zadaným

parametrům. Z tohoto katalogu budou vybrány hodnoty, které budou použity v kontrolním výpočtu pohonné jednotky.

6.4.2 KONTROLA POHONNÉ JEDNOTKY

Ze zvolených parametrů se určí skutečná účinnost převodovky, moment od setrvačné hmoty zátěže, moment potřebný k roztočení řetězového kola a následně budou tyto momenty přepočítány na hřídel elektromotoru. Součtem těchto momentů a kroutícího momentu na hřídeli elektromotoru se určí celkový moment na hřídeli elektromotoru, který musí být menší než jmenovitý moment elektromotoru.

Moment od setrvačné hmoty zátěže:

$$M_{sh} = 30 \cdot m_z \cdot a \cdot \frac{D_r}{2} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (6.4.2.1.)$$

kde: m_z – hmotnost jednoho břemene [kg]

a – zrychlení břemene [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

D_r – průměr roztečné kružnice řetězového kola [m]

Moment potřebný k roztočení řetězového kola:

$$M_{rk} = J \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n_p}{t} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (6.4.2.2.)$$

kde: J – moment setrvačnosti řetězového kola [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

n_p – otáčky výstupního hřídele převodovky [s^{-1}]

t – doba rozběhu [s]

Výpočtový kroutící moment na výstupu elektromotoru:

$$M_k = F_o \cdot \frac{D_r}{2} \cdot \frac{1}{i_p \cdot \eta_s} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (6.4.2.3.)$$

kde: F_o – obvodová síla hnacího řetězu [N]

D_r – průměr roztečné kružnice řetězového kola [m]

η_s – skutečná účinnost převodovky [1]

i_p – převodový poměr [1]

Je nutné zkontrolovat brzdu motoru. Brzdny moment musí být větší než výpočtový kroutící moment na výstupu elektromotoru.

7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ZÁVĚSNÝCH DOPRAVNÍKŮ

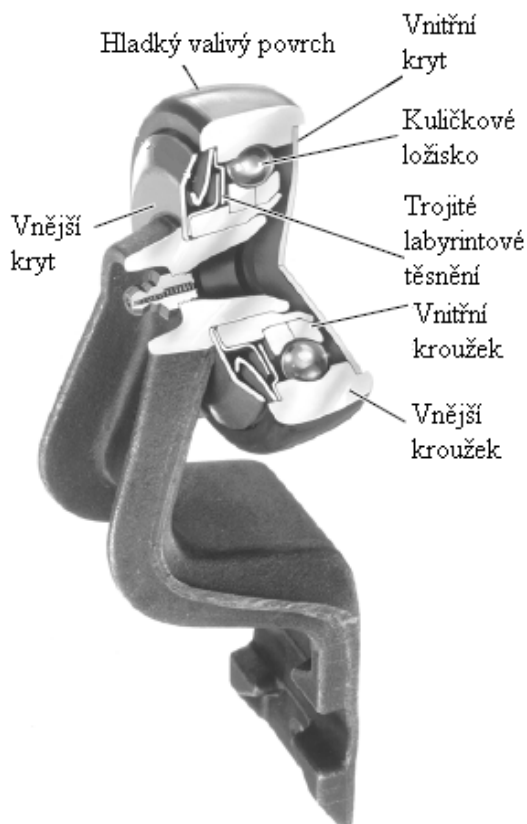
Možnosti konstrukčních řešení závěsných dopravníků je mnoho. Bude uvedeno několik používaných řešení.

7.1 DRÁHA DOPRAVNÍKU

Je to nejdůležitější prvek závěsného dopravníku. Utváří trasu, kudy pojede. Rozděluje se na jednodráhové (viz. obr. 1.2) a dvoudráhové (viz. obr. 1.2.1). Vyrábí se jako stavebnice o různých délkách, obloucích apod.. Tímto stavebnicovým typem se ulehčuje montáž a přeprava dopravníku (nejsou žádné velké kusy). Dráha se zpravidla upevňuje ke konstrukci haly, nebo na podpůrnou konstrukci. Je vyráběna především z válcovaného plechu.

7.2 JEZDEC

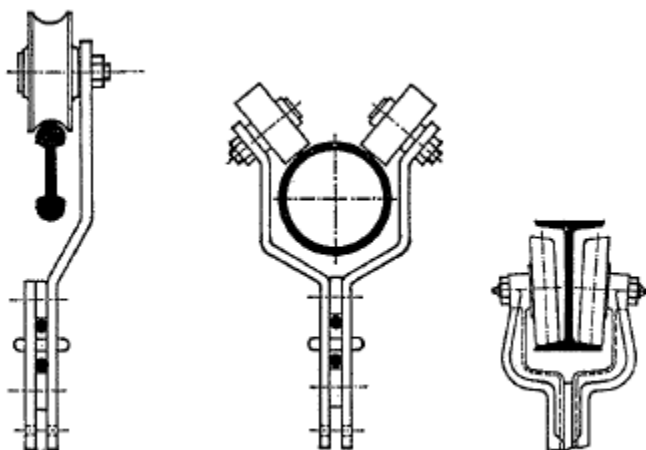
Jezdec je prvek závěsného dopravníku, který unáší dopravovaný materiál. Je spojen s tažným členem. Zajištění pohybu jezdce po dráze je řešeno pomocí různě tvarovaných kol, které mohou pojíždět po dráze nebo v ní. Zpravidla je vyráběn jako odlitek.



Obr.8.2 Jezdec [10]

7.2.1 ZAVĚŠENÍ JEZDCE VENKOVNÍ

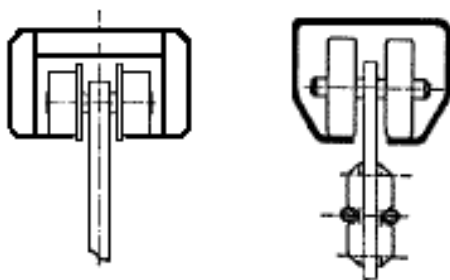
Jezdec může pojíždět po různých profilech, nejpoužívanější je profil „I“. Pro každý profil je nutné zvolit jiného jezdce, aby bylo zaručeno, že z daného profilu nesjede. Viz. obr.8.2.1



Obr.8.2.1. Venkovní jezdci [9]

7.2.2 JEZDEC VEDEN UVNITŘ DRÁHY

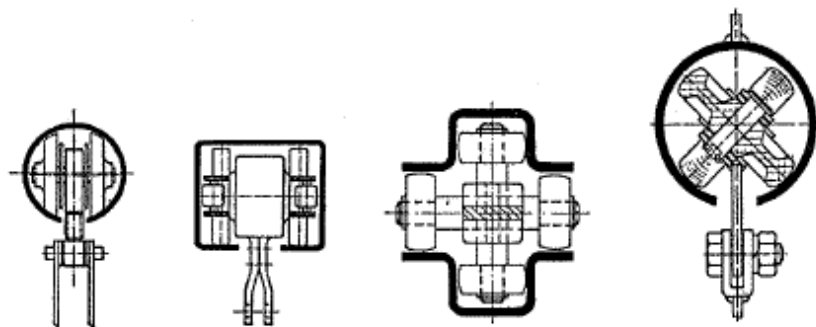
Kolečka jezdce jsou ukryta v příslušném profilu, z kterého vystupuje jen část jezdce, na kterou se připevňuje tažný člen, a zpravidla oko pro zavěs břemena. Viz. obr. 8.2.2.



Obr.8.2.2 Jezdec uvnitř dráhy [9]

7.2.3 TAŽNÝ ČLEN VEDEN UVNITŘ DRÁHY I S JEZDCEM

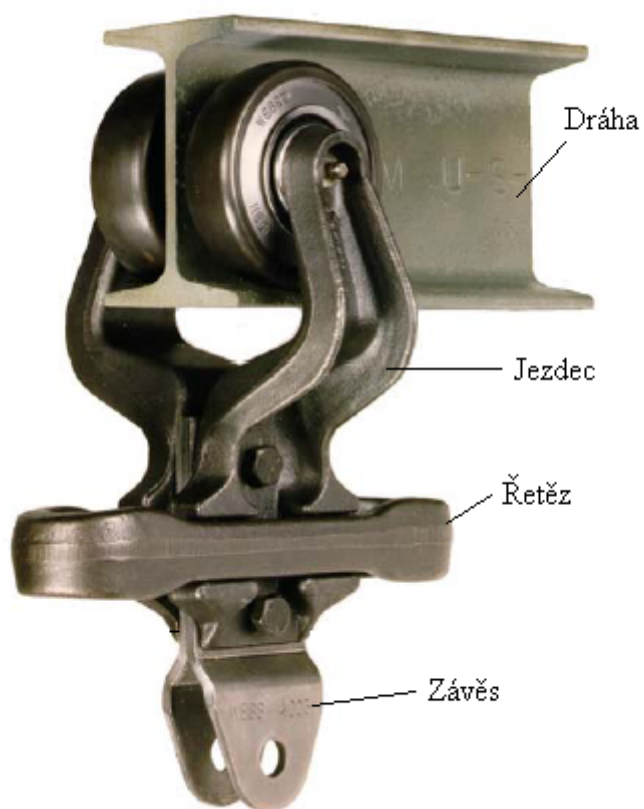
Jezdec i tažný člen jsou umístěni v profilu dráhy a vystupuje pouze část jezdce s okem pro závěs břemena. Viz obr. 8.2.3.



Obr.8.2.3 Tažný člen s jezdcem uvnitř dráhy [9]

7.3 ZÁVĚS

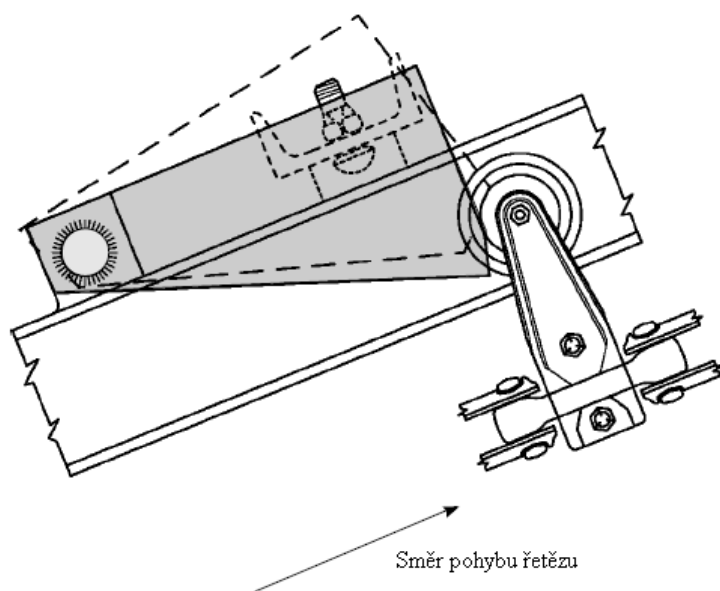
Je to část dopravníku, která nese břemeno a je zavěšena na jezdcí. V některých případech není nutné použití závěsu. Závěsy se liší podle přepravovaného materiálu.



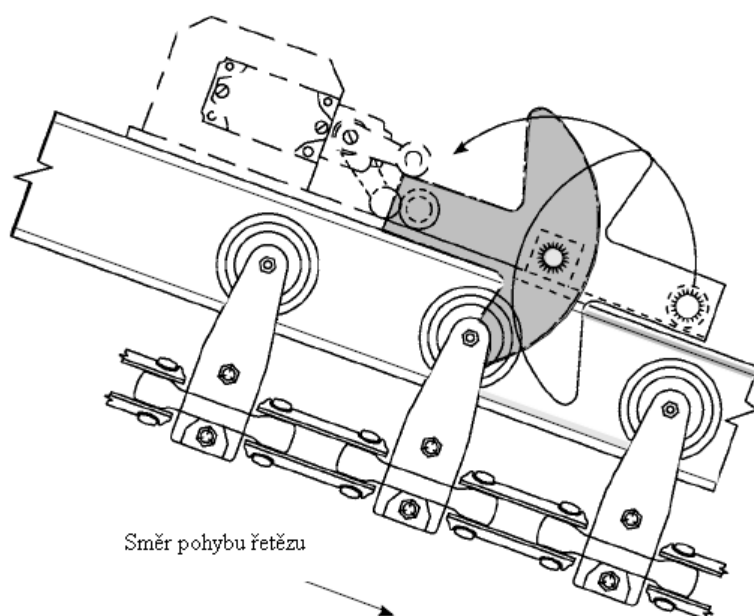
Obr. 7.3. Sestavení pojezdu [10]

7.4 BEZPEČNOSTNÍ ZAŘÍZENÍ

Na místa kde, dráha stoupá nebo klesá, je vhodné použít záchytná zařízení, která zachytnou jezdce v případě poruchy, a tím pádem nedovolí řetězu pohyb způsobený gravitačním zrychlením. Tyto zachycovače jsou kvůli hlučnosti většinou pogumovány. Příklad zachycovače pro stoupání dráhy je na obr. 7.4.1. , pro klesající dráhu je na obr. 7.4.2..



Obr.7.4.1. Zachycovač pro stoupající dráhu [10]



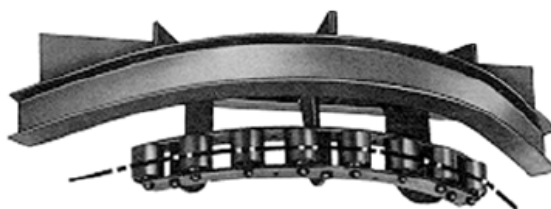
Obr. 7.4.2. Zachycovač pro klesající dráhu [10]

7.5 VEDENÍ OBLOUKEM

Při vedení obloukem by mohlo docházet u podvěsných dopravníků k naklánění jezdců, a tím by vznikalo jejich větší zatížení. Tuto problematiku řeší podpůrná kola (viz. obr. 7.5.1.) nebo podpůrné válečky (viz. obr. 7.5.2.).



Obr. 7.5.1. Podpůrné hladké kolo [10]



Obr. 7.5.2. Podpůrné válečky [10]

8 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit výukovou koncepci pro výpočet jednodráhového prostého závěsného dopravníku, provést rešerši literatury a konstrukce. Největším problémem při vypracovávání této práce byl nedostatek literatury, která se zabývá touto problematikou. Literatura, tematicky se zabývající závěsnými dopravníky, je poměrně zastaralá. V kapitole Dostupná literatura jsou uvedeny některé knihy, které obsahují výpočet těchto dopravníků. Normu ČSN, zabývající se přímo závěsnými dopravníky jsem nenalezl, ale uvedl jsem normy, které se zabývají alespoň nějakou částí. Pracoval jsem i se zahraniční literaturou a webovými stránkami, tudíž práce byla ztížena nutností překladů. Zkoušel jsem oslovit firmy ve svém okolí, které tyto dopravníky vyráběly, ale vždy se mi dostalo odpovědi, že mi nemohou poskytnout žádné výpočty. Nemohl jsem proto ověřit aktuálnost koeficientů a rovnic, které v této práci uvádím. Jelikož veškerá literatura byla staršího výtisku, nebylo možné použít všechny obrázky a musel jsem je upravovat, popřípadě překreslovat. Tabulky jsem předělal a upravil uvedené hodnoty, neboť literatura uváděla staré jednotky. V oblasti navrhování pohonů jsem oslovil společnost zabývající se touto problematikou. Zde jsem získal téměř všechny odpovědi na své otázky a mohl tak uvést způsoby návrhů, které tato firma doporučuje. Tato část je spíše zaměřena na výrobky od společnosti Nord – poháněcí technika, s. r. o., avšak výrobky jiných společností jsou funkčně téměř stejné. Celá bakalářská práce je vytvořena jako skripta pro výpočet závěsných dopravníků. Pro přehlednost jsem provedl rozdělení závěsných dopravníků do tří základních skupin. Dále jsem uvedl vzorce pro výpočet orientačního a podrobného tahu v řetězu. Uvedl jsem tři způsoby návrhu pohonu a v poslední kapitole jsem se věnoval konstrukčnímu řešení jednotlivých prvků, které jsem podložil fotografiemi a schématy pro jednoznačnost.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DAŠEK, M., JERÁBEK, F., BAAR, J.: *Závěsné řetězové dopravníky*. SNTL Praha, 1964, 240 s., 04-263-64.
- [2] *www.2nord.com* [online]. [cit. 2011-04-08]. Dokumentace. Dostupné z WWW: <http://www2.nord.com/cms/cz/documentation/dop_documentation.jsp>
- [3] *www.paceline.com* [online]. [cit. 2011-05-15]. Conveyors for finishing lines. Dostupné z WWW: <http://www.paceline.com/28_2_photos.php>
- [4] GAJDŮŠEK, Jaroslav; ŠKOPÁN, Miroslav. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně v Čs, redakci VN MON, 1988. 277 s
- [5] *www.nimmrichter.cz* [online]. [cit. 2011-02-10]. Dopravníky. Dostupné z WWW: <<http://www.nimmrichter.cz/dopravniky-unicon-u.php>>
- [6] *www.nimmrichter.cz* [online]. [cit. 2011-02-10]. Dopravníky. Dostupné z WWW: <<http://www.nimmrichter.cz/dopravniky-unicon-k.php>>
- [7] MARTÍNEK, Petr. *Transportní zařízení: řešené příklady*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1993. 109 s. ISBN 80-7078-165-3
- [8] *www.strand.cz* [online]. [cit. 2011-02-08]. Podvěsný dopravník poháněný. Dostupné z WWW: <<http://www.strand.cz/vyrobky/podvesny-dopravnik-pohaneny-212/>>
- [9] SALZER, Gert. *Stetigförderer: Teil 2*. Mainz: KG Krausskopf-Verlag für Wirtschaft GmbH & Co, 1967. 600 s.
- [10] *www.jervisbwebb.com* [online]. [cit. 2011-04-22]. Power only I-beam conveyor. Dostupné z WWW: <http://www.jervisbwebb.com/%5CBrochures%5CBul-9238_Webb_Chain_Conveyor_Components_Catalog.pdf>
- [11] ROSENDORF, P. *Horizontální oběžný zásobník spojovacích materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 35s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

- [12] ČSN 26 0607. *Bezpečnostní předpisy pro dopravníky a elevátory s řetězy: Příklady ochrany nebezpečných sbíhavých míst*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 24 s.
- [13] ČSN ISO 9851. *Poháněné závěsné traťe jednodráhové: Terminologie a bezpečnostní předpisy*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 8 s.

10 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

a	$[m \cdot s^{-2}]$	zrychlení břemene
a_{\max}	$[m]$	maximální šířka břemene se závěsem
b_{\max}	$[m]$	maximální délka břemene se závěsem ve směru dopravy
D	$[mm]$	průměr kladky nebo kolečka
D_r	$[m]$	průměr roztečné kružnice řetězového kola
f	$[1]$	součinitel f uveden v příloze 1 a 2
f_c	$[1]$	orientační součinitel valivých odporů
f_o	$[1]$	součinitel odporu v oblouku
F_o	$[N]$	obvodová síla hnacího řetězu
G	$[kg]$	hmotnost vozíku a materiálu
G_j	$[kg]$	hmotnost jednoho jezdce
G_k	$[kg]$	zvětšení nebo zmenšení hmotnosti materiálu na daném sklonu dráhy
G_m	$[kg]$	průměrná hmotnost jednoho kusu materiálu
G_v	$[kg]$	hmotnost jednoho vozíku
G_z	$[kg]$	hmotnost jednoho závěsu
h_r	$[m]$	výškový rozdíl mezi místem s největším a nejmenším tahem
i	$[ks]$	počet kusů na jednom závěsu
i_j	$[ks]$	počet jezdců
i_m	$[ks]$	počet kusů materiálů na dopravníku
i_p	$[1]$	převodový poměr
i_v	$[ks]$	počet vozíků
i_z	$[ks]$	počet závěsů materiálu
J	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti řetězového kola
k	$[1]$	součinitel zvýšení tahu v redukovaném oblouku
k_c	$[1]$	součinitel zvýšení počátečního tahu vlivem odporů
k_p	$[1]$	součinitel pro výpočet tahu v řetězu za ztížených podmínek
L	$[m]$	délka řetězu
L_a	$[m]$	délka řetězu na okruhu
L_p	$[m]$	délka řetězu v počítaném úseku dráhy
L_q	$[m]$	délka zatížené části
M_k	$[N \cdot m]$	výpočtový kroutící moment na výstupu elektromotoru
M_{rk}	$[N \cdot m]$	moment potřebný k roztočení řetězového kola

M_{sh}	[N·m]	moment od setrvačné hmoty zátěže
m_z	[kg]	hmotnost jednoho břemene
n	[1]	počet redukovaných oblouků
n_1	[ks]	počet redukovaných oblouků majících vliv na složku tahu T_H
n_2	[ks]	počet redukovaných oblouků majících vliv na složku tahu T_k
n_3	[ks]	počet redukovaných oblouků mezi prvním místem vzniku přídatného odporu a místem počítaného tahu
N_d	[t·h ⁻¹]	dopravní výkon hmotnostní
n_p	[s ⁻¹]	otáčky výstupního hřídele převodovky
o	[N]	odpor v oblouku
P	[N]	nejnižší přípustný tah v řetězu
P_j	[N]	základní odpor kladky nebo kolečka
P_k	[N]	složka odporu nezávislá na tahu v řetězu
P_m	[W]	výpočetní výkon elektromotoru
P_o	[N]	složka odporu závislá na tahu v řetězu
P_p	[N]	tah v řetězu na počátku počítaného úseku
P_{po}	[N]	přídavné odpory technologických dopravníků (lázně....)
Q	[kg]	tažená hmotnost dopravníkem
q	[kg·m ⁻¹]	hmotnost řetězu a jezdců na jeden metr dopravníku
q_c	[kg·m ⁻¹]	skutečné zatížení dopravníku na jeden metr
Q_k	[ks·h ⁻¹]	dopravní výkon kusový vztažený na jednu hodinu
Q_n	[kg]	hmotnost materiálu mezi dvěma oblouky
Q_q	[kg]	hmotnost taženého materiálu v zatížené části
q_r	[kg·m ⁻¹]	hmotnost řetězu na jeden metr délky
R	[m]	poloměr oblouku
T	[N]	orientační maximální tah v řetězu
t	[s]	doba rozběhu
T'	[N]	tah před obloukem
T''	[N]	tah za obloukem
t_b	[m]	rozteč dopravovaných předmětů
t_{bmin}	[m]	minimální rozteč dopravovaných kusů
t_{bteor}	[m]	teoretická rozteč dopravovaných kusů
T_H	[N]	složka tahu vyvolaná výškovými rozdíly mezi počátkem a koncem
T_k	[N]	složka tahu vyvolaná postupně přibývajícími odpory

T_K	[N]	složka tahu vyvolaná různým zatížením na sklonech dráhy
T_{kor}	[N]	tah v řetězu za ztížených podmínek
T_I	[N]	tah v řetězu v libovolném místě dopravníku
T_O	[N]	složka tahu vyvolaná přidavnými odpory dopravníku
T_p	[N]	složka tahu vyvolaná počátečním tahem v řetězu
T_Q	[N]	složka tahu vyvolaná valivými odpory hmotnosti taženého materiálu
T_U	[N]	složka tahu vyvolaná odpory závislými na délce řetězu, počtu kol a koleček
u	[N·m ⁻¹]	odpor jednoho metru běžného dopravníku
U'	[kg]	součet vlastních odporů jezdců a vozíků na vodorovné přímé dráze při chodu naprázdno
U''	[kg]	součet vlastních odporů kolových a válečkových oblouků na dráze dopravníku při nulovém tahu v řetězu
u_c	[N]	orientační hodnota základních odporů nezávislá na hmotnosti materiálu
v	[m·min ⁻¹]	zvolená rychlost dopravníku
v_{min}	[m·min ⁻¹]	minimální rychlost dopravníku
x	[ks·h ⁻¹]	počet dopravovaných předmětů za hodinu
α	[°]	viz. Obr. 2.3.2 Vodorovný oblouk dráhy
α_{max}	[°]	maximální úhel stoupání nebo klesání dráhy
α_s	[°]	součet úhlů všech oblouků ve svislé rovině
α_v	[°]	součet úhlů všech oblouků ve vodorovné rovině
α_{vo}	[°]	součet úhlů oblouků s hladkými koly ve vodorovné rovině
α_{vz}	[°]	součet úhlů oblouků s ozubenými koly ve vodorovné rovině
β	[°]	viz. Obr. 2.3.2 Vodorovný oblouk dráhy
γ	[°]	úhel sklonu dráhy
η	[1]	účinnost převodovky
η_s	[1]	skutečná účinnost převodovky
φ	[1]	součinitel snížení tahu v řetězu

11 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 -** Součinitele pro podrobný výpočet tahu v řetězu u podvěsných dopravníků pro hodnotu $k = 1,025$ [1].
- Příloha 2 –** Součinitele pro podrobný výpočet tahu v řetězu u prostorových dopravníků pro hodnotu $k = 1,05$ [1].
- Příloha 3 -** Součinitel zvětšení počátečního tahu k^n pro $n = 0$ až 100 redukovaných oblouků [1].
- Příloha 4 –** Součinitel zvětšení tahu rovnoměrně přibývajících odporů $k^n \cdot \varphi$ pro 0 až 100 redukovaných oblouků [1].

Příloha 1 - Součinitele pro podrobný výpočet tahu v řetězu u podvěsných dopravníků pro hodnotu $k = 1,025[1]$.

n	k^n	φ	$k^n \cdot \varphi$	$f_c = f \cdot k^n \cdot \varphi$ pro $f = \dots$				
				0,010	0,015	0,020	0,025	0,030
1	1,025	1,00	1,025	0,010	0,015	0,020	0,026	0,031
2	1,05	0,99	1,04	0,010	0,016	0,210	0,026	0,031
3	1,08	0,98	1,05	0,011	0,016	0,210	0,026	0,031
4	1,10	0,96	1,06	0,011	0,016	0,210	0,027	0,032
5	1,13	0,95	1,08	0,011	0,016	0,022	0,027	0,032
6	1,16	0,94	1,09	0,011	0,016	0,022	0,027	0,033
7	1,19	0,93	1,11	0,011	0,017	0,022	0,028	0,033
8	1,22	0,92	1,12	0,011	0,017	0,022	0,028	0,034
9	1,25	0,91	1,13	0,011	0,017	0,023	0,028	0,034
10	1,28	0,90	1,15	0,011	0,017	0,023	0,029	0,035
11	1,31	0,89	1,16	0,012	0,017	0,023	0,029	0,035
12	1,35	0,88	1,18	0,012	0,018	0,024	0,029	0,035
13	1,38	0,87	1,19	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036
14	1,41	0,86	1,22	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036
15	1,45	0,85	1,23	0,012	0,018	0,025	0,031	0,037
16	1,48	0,84	1,24	0,012	0,019	0,025	0,031	0,037
17	1,52	0,83	1,36	0,013	0,019	0,025	0,031	0,038
18	1,56	0,82	1,27	0,013	0,019	0,025	0,032	0,038
19	1,60	0,81	1,29	0,013	0,019	0,026	0,032	0,039
20	1,64	0,80	1,31	0,013	0,020	0,026	0,033	0,039
21	1,68	0,79	1,33	0,013	0,020	0,027	0,033	0,040
22	1,72	0,78	1,34	0,013	0,020	0,027	0,034	0,040
23	1,76	0,77	1,36	0,014	0,020	0,027	0,034	0,041
24	1,81	0,76	1,38	0,014	0,021	0,028	0,034	0,041
25	1,85	0,75	1,40	0,014	0,021	0,028	0,035	0,042
26	1,90	0,75	1,42	0,014	0,021	0,028	0,035	0,043
27	1,95	0,74	1,44	0,014	0,022	0,029	0,036	0,043
28	2,00	0,73	1,46	0,015	0,022	0,029	0,036	0,044
29	2,05	0,72	1,48	0,015	0,022	0,030	0,037	0,044
30	2,10	0,71	1,50	0,015	0,023	0,030	0,038	0,045
31	2,15	0,71	1,52	0,015	0,023	0,030	0,038	0,045
32	2,20	0,70	1,54	0,015	0,023	0,031	0,039	0,046
33	2,26	0,69	1,56	0,016	0,024	0,032	0,039	0,047
34	2,32	0,69	1,58	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048
35	2,38	0,68	1,60	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048
36	2,43	0,67	1,63	0,016	0,024	0,033	0,041	0,049
37	2,50	0,66	1,65	0,017	0,025	0,033	0,041	0,049
38	2,56	0,66	1,68	0,017	0,025	0,034	0,042	0,051
39	2,62	0,65	1,70	0,017	0,025	0,034	0,043	0,051
40	2,70	0,64	1,73	0,017	0,026	0,035	0,043	0,052

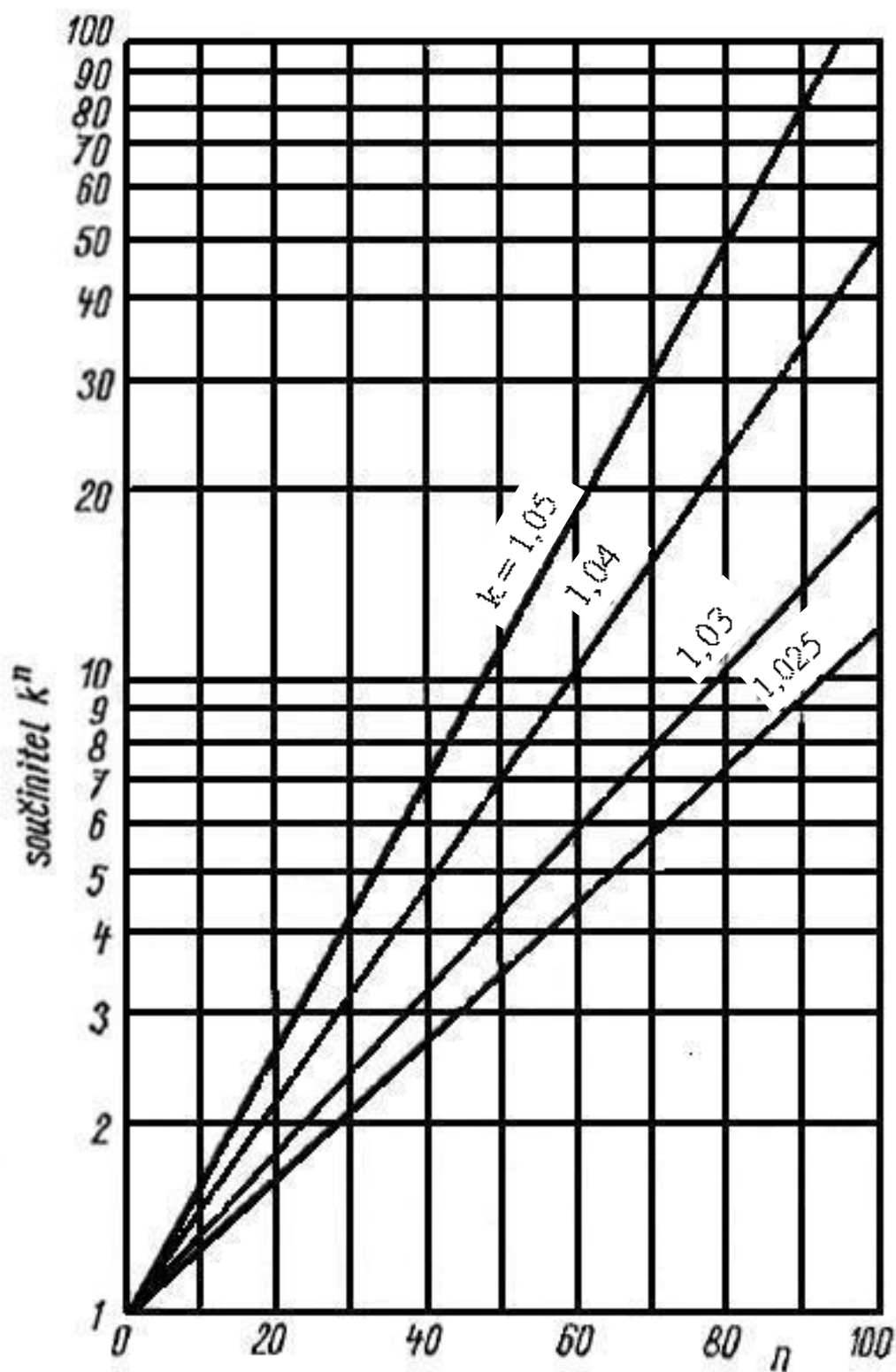
Platí pro ozubená kola průměru 710 až 1000mm, úhel opásání 90°

Příloha 2 – Součinitele pro podrobný výpočet tahu v řetězu u prostorových dopravníků pro hodnotu $k = 1,05[1]$.

n	k^n	φ	$k^n \cdot \varphi$	$f_c = f \cdot k^n \cdot \varphi$ pro $f = \dots$				
				0,010	0,015	0,020	0,025	0,030
1	1,05	1,00	1,05	0,011	0,016	0,021	0,026	0,032
2	1,10	0,98	1,08	0,011	0,016	0,022	0,027	0,033
3	1,16	0,95	1,10	0,011	0,017	0,022	0,028	0,033
4	1,22	0,94	1,13	0,011	0,017	0,023	0,028	0,034
5	1,28	0,92	1,16	0,012	0,017	0,023	0,029	0,035
6	1,34	0,89	1,19	0,012	0,018	0,024	0,030	0,035
7	1,41	0,88	1,22	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036
8	1,48	0,85	1,25	0,013	0,019	0,025	0,031	0,038
9	1,55	0,83	1,29	0,013	0,019	0,026	0,032	0,039
10	1,63	0,81	1,32	0,013	0,020	0,026	0,033	0,040
11	1,72	0,79	1,36	0,014	0,020	0,027	0,034	0,041
12	1,80	0,78	1,40	0,014	0,021	0,028	0,035	0,042
13	1,89	0,76	1,43	0,014	0,021	0,029	0,036	0,043
14	1,99	0,74	1,48	0,015	0,022	0,030	0,037	0,044
15	2,08	0,73	1,51	0,015	0,023	0,030	0,038	0,045
16	2,19	0,71	1,55	0,016	0,023	0,031	0,039	0,047
17	2,30	0,70	1,60	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048
18	2,41	0,68	1,64	0,016	0,025	0,033	0,041	0,049
19	2,54	0,67	1,69	0,017	0,025	0,034	0,042	0,051
20	2,66	0,66	1,74	0,017	0,026	0,035	0,043	0,052
21	2,80	0,64	1,78	0,018	0,027	0,036	0,045	0,054
22	2,94	0,63	1,84	0,018	0,028	0,037	0,046	0,055
23	3,08	0,62	1,90	0,019	0,029	0,038	0,048	0,057
24	3,24	0,60	1,95	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059
25	3,40	0,59	2,01	0,020	0,030	0,400	0,050	0,060
26	3,57	0,58	2,07	0,021	0,031	0,042	0,052	0,062
27	3,85	0,57	2,13	0,021	0,032	0,043	0,053	0,064
28	3,93	0,56	2,20	0,022	0,033	0,044	0,055	0,066
29	4,15	0,55	2,27	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068
30	4,35	0,54	2,33	0,023	0,035	0,047	0,058	0,070

Platí pro vodorovný oblouk dráhy s poloměrem $r = 600\text{mm}$, o středovém úhlu 90°

Příloha 3 - Součinitel zvětšení počátečního tahu k^n pro $n = 0$ až 100 redukovaných oblouků[1].



Příloha 4 – Součinitel zvětšení tahu rovnoměrně přibývajících odporů $k^n \cdot \varphi$ pro 0 až 100 redukovaných oblouků [1].

